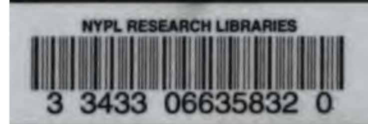

NYPL RESEARCH LIBRARIES
3 3433 06635832 0

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE

PARIS. — IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS.
34644 Quai des Grands-Augustins, 55.

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DE

MINÉRALOGIE

(ANCIENNE SOCIÉTÉ MINÉRALOGIQUE DE FRANCE),

Fondée le 21 Mars 1878,

RECONNUE COMME ÉTABLISSEMENT D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET
DU 2 FÉVRIER 1886.

TOME VINGT-SEPTIÈME.

PARIS,

LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE, CH. BÉRANGER, ÉDITEUR,

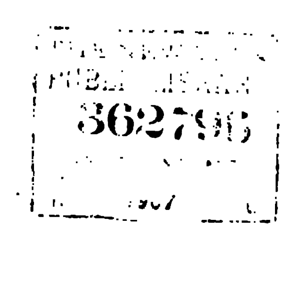
SUCCESSEUR DE BAUDRY ET Cie,

15, rue des Saints-Pères, 15.

MAISON A LIÈGE, RUE DES DOMINICAINS, 7.

—

1904


362796

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DE

MINÉRALOGIE.

LISTE DES MEMBRES

1904

Membres honoraires décédés.

MILLER (W.-H.).
ADAM.
KOBELL (Fr. von).
SMITH (Lawrence).
SELLA (Q.).
RATH (G. vom).
DOMEYKO (I.).
LEUCHTENBERG (S. A. I. le grand-duc Nic. de).
KOKSCHAROW (N. DE).
SCACCHI (A.).
SZABO (J.).
MARIGNAC (Ch. DE).
DANA (J.-D.).
DES CLOIZEAUX.
SCHRAUF (A.).
FRIEDEL (Ch.).
RAMMELSBERG (C.).
NORDENSKIOELD (A.-E.).
DAMOUR (A.).

Membres honoraires.

BRÖGGER (W.-C.), professeur à l'Université de Christiania.

FOUQUÉ (F.), membre de l'Institut, professeur d'Histoire naturelle des corps inorganiques au Collège de France, 23, rue Humboldt, Paris, 14e.

GROTH (Dr Paul), professeur à l'Université, Mineralogische Sammlung Akademie, Munich (Bavière).

LANG (V. von), k. k. Hofrat, professeur à l'Université de Vienne.

MASKELYNE (N. S. Esq[re]), membre de la Chambre des Communes, Basset Down House, Swindon, Wilts (Angleterre).

ROSENBUSCH (D[r] H.), professeur à l'Université de Heidelberg.

TOPSOE (D[r] H.), professeur à l'École militaire de Copenhague.

TSCHERMAK (D[r] G.), correspondant de l'Institut, professeur à l'Université de Vienne.

ZIRKEL (D[r] Fr.), professeur à l'Université de Leipzig.

Membres perpétuels.

BERTRAND (Émile), ingénieur, 35, boulevard des Invalides, Paris, 7[e].

INSTITUT impérial des Mines de Saint-Pétersbourg.

MAUROY (DE), ingénieur, à Vassy (Haute-Marne).

SEIDEL Y AYMERICH (José), professeur à la Faculté des Sciences de la Havane (Cuba).

SPECULA VATICANA, à Rome.

SOCIÉTÉ impériale minéralogique de Saint-Pétersbourg.

Membres ordinaires (1).

m AMARAL (Fr. José de Santa Maria), mostero de S. Bento, à Rio-de-Janeiro.

AMIOT (H.), ingénieur en chef des Mines, attaché à la Direction des Chemins de fer de P.-L.-M., 4, rue Weber, Paris, 16[e].

ARMACHEWSKI (P.), professeur à l'Université de Kiew (Russie).

ARSANDAUX (H.), préparateur au Collège de France, 6, rue Flattérs, Paris, 5[e].

ATANASESCO (N.), docteur ès sciences, professeur de Chimie à la Faculté de Médecine, 21, strada Stirbey Voda, Bucharest.

---

(1) La lettre *m* indique les membres à vie.

BÄCKSTRÖM (Dr H.), professeur à la Högskola, 30, Kungsgatan, Stockholm.

BARDET (Dr), 20, rue de Vaugirard, Paris, 6e.

BARET (Ch.), 23, rue Chateaubriand, Nantes.

m BARROIS (Charles), professeur à la Faculté des Sciences, 41, rue Pascal, Lille, et 9, rue Chomel, Paris, 7e.

BARTH (J.-A.), éditeur des *Beiblätter zu den Annalen der Physik,* Rossplatz, 17, Leipzig.

BAUER (Dr Max), professeur à l'Université, Marburg (Hesse).

BEL (J.-M.), ancien élève de l'École Polytechnique, ingénieur civil des Mines, 4, place Denfert-Rochereau, Paris, 14e.

BENIER, ingénieur, Combs-la-Ville (Seine-et-Marne).

BENSAUDE (Dr Alf.), membre de l'Académie royale des Sciences, professeur à l'Institut industriel, 6, rue S. Gaetano, Lapa, Lisbonne.

BERGERON (Jules), professeur de Géologie et de Minéralogie à l'Ecole centrale, directeur adjoint du Laboratoire des recherches géologiques à la Faculté des Sciences, 157, boulevard Haussmann, Paris, 8e.

BERTRAND (Marcel), membre de l'Institut, ingénieur en chef des Mines, professeur à l'École des Mines, 101, rue de Rennes, Paris, 6e.

BIBLIOTHÈQUE de l'Université de Clermont-Ferrand.

BIBLIOTHÈQUE de l'Université de Grenoble.

BIBLIOTHÈQUE de l'Université de Louvain (Belgique).

BIBLIOTHÈQUE de la K. Techn. Hochschule de Stuttgart.

BIZARD (R.), 72, rue Desjardins, Angers.

BLONDEL (Maurice), licencié ès sciences, 286, boulevard Raspail, Paris, 14e.

BOUBÉE (Madame E.), officier d'Académie, 3, boulevard et place Saint-André-des-Arts, Paris, 6e.

BOUCHARD (Dr), membre de l'Institut, 174, rue de Rivoli, Paris, 1er.

m BOUCHARDAT (Gust.), professeur à l'École de Pharmacie, 108, boulevard Saint-Germain, Paris, 6e.

BOURGEAT (l'abbé), docteur ès sciences, professeur à la Faculté libre des Sciences de Lille.

m BOURGEOIS (Léon), répétiteur à l'École Polytechnique, assistant au Muséum d'Histoire naturelle, 1, boulevard Henri-IV, Paris, 4e.

m BOWMAN (Herbert-L.), démonstrateur de Minéralogie à l'Université, 7, Manor Road, Oxford (Angleterre).

BRALY (A.), ingénieur des Mines, 30, rue George-Sand, Paris, 16e.

BRAUNS (R.), professeur de Minéralogie à l'Université, 4, Ostanlage, Giessen.

BRÉON (René), ingénieur civil, Semur (Côte-d'Or).

BRONGNIART (Marcel), licencié ès Sciences, 1, rue Villersexel, Paris, 7e.

BÜCKING (Dr Hugo), professeur de Minéralogie à l'Université de Strasbourg.

m BUREAU (Dr Louis), professeur à l'École de Médecine, directeur du Musée d'Histoire naturelle, 15, rue Gresset, Nantes.

BUTTGENBACH (H.), ingénieur à Ensival (Belgique).

CABINET de Minéralogie de l'Université royale de Pavie.

CARNOT (Ad.), membre de l'Institut, inspecteur général des Mines, directeur de l'École des Mines, Paris, 6e.

CESARO (G.), professeur de Minéralogie à l'Université de Liége, Cheratte (Belgique).

CHABRIÉ (C.), docteur ès sciences, sous-directeur du Laboratoire de Chimie appliquée et chargé de cours à la Faculté des Sciences, 83, rue Denfert-Rochereau, Paris, 14e.

CHURCH (A.-H.), F. R. S., professeur de Chimie, Shelsley, Kew Gardens, Surrey (Angleterre).

COHEN (Dr E.), professeur à l'Université, 4, Rossmarkt, Greifswald (Allemagne).

COLANI (A.), 19, rue Vauquelin, Paris, 5e.

COLORIANO (P. Ant.), docteur ès sciences, directeur de l'École normale d'instituteurs, 23, strada Ciclopi, Bucharest (Roumanie).

m COSTA-SENA (J. DA), ingénieur des Mines, Ouro-Preto, Minas Geraës (Brésil).

m CURIE (Pierre), chargé de Cours de Physique à la Faculté des Sciences de Paris, professeur à l'École de Physique et Chimie, 108, boulevard Kellermann, Paris, 13e.

DELAGE (A.), professeur à la Faculté des Sciences de Montpellier.

DEMIDOFF LAPOUKHINE (Prince), 35, avenue Victor-Hugo, Paris, 16e.

DERWIS (Mlle Véra VON), École supérieure des femmes, 32, Fontanka, Saint-Pétersbourg.

DESHARNOUX, graveur, 69, rue Monge, Paris, 5e.

DOELTER (Dr Corn.), professeur de Minéralogie à l'Université de Gratz (Autriche).

DUFET (H.), maître de conférences de Minéralogie à l'École Normale supérieure, 35, rue de l'Arbalète, Paris, 5e.

DUPARC (Louis), professeur de Minéralogie à l'Université de Genève.

DURANDIÈRE (Arthur DE LA), 62, rue des Saint-Pères, Paris, 7e.

FLAMAND, chargé de cours à l'École des Sciences d'Alger, Alger-Mustapha.

FRIEDEL (Georges), ingénieur des Mines, professeur à l'École des Mines de Saint-Étienne, 97, cours Fauriel, Saint-Étienne (Loire).

GAUBERT (Paul), docteur ès sciences, assistant de Minéralogie au Muséum d'Histoire naturelle, 1, rue Mirbel, Paris, 5e.

GENTIL (Louis), chargé de conférences de Pétrographie à la Faculté des Sciences, 65, boulevard Pasteur, Paris, 15e.

GLANGEAUD (Ph.), professeur adjoint de Minéralogie à la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand.

GLINKA (Serge), privat docent, cabinet de Minéralogie, Université impériale de Saint-Pétersbourg.

GOGUEL (H.), docteur ès sciences, maître de conférences de Minéralogie à la Faculté des Sciences, 52, cours d'Alsace-Lorraine, Bordeaux.

m GOLDSCHMIDT (Dr V.), professeur de Minéralogie et de Cristallographie à l'Université, 9, Gassbergstrasse, Heidelberg.

GONNARD (F.), ingénieur des hospices civils de Lyon, 38, quai de Vaise, Lyon.

GORCEIX (Henri), ex-directeur de l'Ecole des Mines d'Ouro-Preto (Brésil), à Mont-sur-Vienne, par Bujaleuf (Haute-Vienne).

m GRAMONT (Arnaud DE), docteur ès sciences, 81, rue de Lille, Paris, 7e.

GRATTAROLA, directeur du Musée et Laboratoire de Minéralogie de l'Institut royal des Études supérieures, 2, piazza San Marco, à Florence.

GROULT-DEYROLLE (P.), naturaliste, 46, rue du Bac, Paris, 7e.

GUYOT DE GRANDMAISON (E.), 23, rue Clairat, Bergerac (Dordogne).

HERBETTE (Jean), licencié ès Sciences, 17, rue Fortuny, Paris, 17e.

HINTZE (Dr C.), professeur de Minéralogie à l'Université, 5, Moltkestrasse, Breslau.

HUSSAK (E.), Commission géologique de São Paulo (Brésil).

INSTITUT minéralogique de l'Université de Czernowitz (Autriche).

JANNETTAZ (Paul), ingénieur des Arts et Manufactures, répétiteur à l'École centrale, 68, rue Claude-Bernard, Paris, 5e.

JOFFRE (J.), chimiste, 2, route de Saint-Leu, Montmorency (Seine-et-Oise).

JORISSEN, ingénieur, 56, rue Monge, Paris, 5e.

JUNGFLEISCH (E.), membre de l'Académie de Médecine, professeur à l'École de Pharmacie et au Conservatoire des Arts et Métiers, 74, rue du Cherche-Midi, Paris, 6e.

KAMPMANN (Alfred), Épinal.

KLEIN (Dr Carl), correspondant de l'Institut, professeur à l'Université de Berlin, Geh. Bergrath, Joachimsthaler Str., 39-40, Charlottenburg b. Berlin.

KLOBB (T.), professeur à l'École supérieure de Pharmacie, 44, rue de Metz, Nancy.

KRENNER (Dr J.), professeur de Minéralogie au National Museum, Buda-Pest.

KUNZ (Georges-F.), chez MM. Tiffany et Cie, Union Square, New-York City.

LACOUR (Alf.), ingénieur civil des Mines, 60, rue Ampère, Paris, 17e.

m LACROIX (A.), membre de l'Institut, professeur de Minéralogie au Muséum d'Histoire naturelle, 8, quai Henri-IV, Paris, 4e.

LAPPARENT (Alb. DE), membre de l'Institut, professeur de Géologie et Minéralogie à l'Institut catholique, 3, rue de Tilsitt, Paris, 8e.

LAPPARENT (Jacques DE), 3, rue de Tilsitt, Paris, 8e.

LASSALLE (Th.), route de Clermont, Montluçon (Allier).

LE CHATELIER (H.), ingénieur en chef des Mines, professeur à l'École des Mines et au Collège de France, 73, rue Notre-Dame-des-Champs, Paris, 6e.

LEWIS (W.-J.), professeur, New Museums, Cambridge (Angleterre).

LIEBISCH (Dr Th.), professeur de Minéralogie à l'Université, Göttingen (Prusse).

LINDSTRŒM (G.), adjoint au Riks-Museum, Stockholm (Suède).

m LIVERSIDGE, professeur à l'Université de Sydney, Nouvelle-Galles du Sud (Australie).

LOUGUININE, professeur à la Faculté des Sciences de Moscou, 77, avenue de Malakoff, Paris, 16ᵉ.

LOVISATO (Domenico), professeur à l'Université de Cagliari (Sardaigne), 19, viale Regina Margharita.

LUEDECKE (Dr Otto), professeur à l'Université, 8, Blumenthalstrasse, Halle s. Saale, Thuringe.

MATTIROLO (Ettore), ingénieur des Mines, directeur du Laboratoire chimique de l'Office royal géologique des Mines, Rome.

m MICHEL (Léopold), maître de conférences de Minéralogie à la Faculté des Sciences de Paris, 54, boulevard Maillot, Neuilly (Seine).

m MICHEL LÉVY (A.), membre de l'Institut, inspecteur général des Mines, directeur du Service de la Carte géologique de France, 26, rue Spontini, Paris, 16ᵉ.

MIEG (Mathieu), 48, avenue de Modenheim, Mulhouse.

m MIERS (Henry-A.), professeur au Magdalen College, Oxford.

m MIRABAUD (Paul), banquier, 8, rue de Provence, Paris, 9ᵉ.

MOISSAN (H.), membre de l'Institut, professeur à la Faculté des Sciences, 7, rue Vauquelin, Paris, 5ᵉ.

MOSES (Dr Alf. J.), professeur de Minéralogie à l'École des Mines, Columbia University, New-York.

MUSEUM d'Histoire naturelle de Hambourg (Allemagne).

NENTIEN (E.), ingénieur en chef des Mines, Chalon-sur-Saône.

NICOLAU (Dr Th.), professeur au Lycée, Strada Sf. Athanasie nº 1, Jassy (Roumanie).

ŒBBEKE (Dr K.), professeur de Minéralogie à la Technische Hochschule, Munich (Bavière).

OFFRET (Albert), professeur de Minéralogie à la Faculté des Sciences de Lyon, villa Sans-Souci, 53, chemin des Pins, Lyon.

O'GORMAN (comte Gaëtan), 21, avenue de Barèges, Pau (Basses-Pyrénées).

OUROCHEWITS (Sawa), professeur à l'École supérieure des Sciences de Belgrade (Serbie).

PACHECO DO CANTO E CASTRO (Eug. Vaz), professeur au Lycée de Ponta Delgada, île de São-Miguel (Açores).

PAVOT, intendant militaire, 36 *bis*, rue Ballu, Paris, 9e.

PISANI (F.), chimiste, 8, rue de Furstenberg, Paris, 6e.

m POTIER (Alf.), membre de l'Institut, inspecteur général des Mines, professeur honoraire à l'École Polytechnique, 89, boulevard Saint-Michel, Paris, 5e.

PURPER, avenue du Rond-Point, à Évry-Petit-Bourg (Seine-et-Oise).

m RICHARD (Ad.), préparateur à l'École des Mines, 73, rue du Cardinal-Lemoine, Paris, 5e.

ROMEU (DE), ingénieur des Arts et Manufactures, 38, boulevard de Courcelles, Paris, 17e.

ROUX (Léon), professeur de Chimie à la Faculté des Sciences de Poitiers.

m SAUVAGE (Ed.), ingénieur des Mines, 14, rue Eugène-Flachat (place Pereire), Paris, 17e.

m SAXE-COBOURG-GOTHA (S. A. I. le Prince dom Pedro DE).

SCACCHI (E.), professeur de Minéralogie à l'Université de Naples.

SCHULTEN (Dr Aug. DE), professeur à l'Université de Helsingfors (Finlande), au Laboratoire de M. Riban, à la Sorbonne, Paris, 5e.

SEHERR THOSS (le baron M. DE), Hohenzollernstrasse, 16, Berlin.

SELIGMANN (G.), 18, Schlossrondel, Coblentz.

SELLE (vicomte DE), au château de Fontienne, par Saint-Étienne-les-Orgues (Basses-Alpes).

SELWYN, ancien Directeur du Service géologique du Canada, Museum and Office, Sussex street, Ottawa.

SORET (Charles), professeur de Physique à l'Université, 8, rue Beauregard, Genève.

STÖBER (Dr H.), chargé de cours à l'Université, 45, boulevard Léopold, Gand.

STRUEVER (G.), professeur de Minéralogie à l'Université de Rome.

STUER (Al.), 4, rue de Castellane, Paris, 8e.

SUTTON (William J.), géologue à Victoria (Colombie Britannique).

TERMIER (Pierre), ingénieur en chef des Mines, professeur de Minéralogie à l'École des Mines, 164, rue de Vaugirard, Paris, 15e.

USSING (Dr N.-V.), professeur à l'Université de Copenhague.

VATIN, ingénieur civil des Mines, 24, rue du Champ-de-Mars, Paris, 7e.

WALLERANT (F.), professeur de Minéralogie à la Faculté des Sciences de Paris, 5e.

WICHMANN (Dr A.), professeur à l'Université d'Utrecht (Pays-Bas).

WINCHELL (N.-H.), géologue de l'État du Minnesota, Minneapolis (États-Unis).

WÜLFING (Dr E.-A.), professeur de Minéralogie à la Kgl. L. Akademie de Hohenheim (Wurtemberg).

WYROUBOFF (Grégoire), professeur au Collège de France, 20, rue Lacépède, Paris, 5e.

ZUJOVIC (J.-M.), professeur de Géologie à l'École supérieure de Belgrade (Serbie).

Bureau de la Société

(Année 1904).

MM. H. DUFET, Président.
WALLERANT, DE GRAMONT, Vice-Présidents.
L. BOURGEOIS, Trésorier.
M. BLONDEL, Secrétaire pour la France.
Ad. RICHARD, Secrétaire pour l'Étranger.
J. HERBETTE, Archiviste.

Membres du Conseil de la Société

(Année 1904).

MM. GAUBERT,
LACROIX,
L. MICHEL,

MM. PISANI,
DE SCHULTEN,
WYROUBOFF.

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE.

ANNÉE 1904. — BULLETIN N° 1.

Compte rendu de la séance du 14 janvier 1904.

PRÉSIDENCE DE M. L. MICHEL.

M. LE PRÉSIDENT donne la parole à M. le Trésorier pour la lecture de son rapport.

Rapport du Trésorier.

MESSIEURS ET CHERS COLLÈGUES,

J'ai l'honneur de vous soumettre les comptes de l'année qui vient de s'écouler, arrêtés au 31 décembre.

COMPTES DE L'EXERCICE 1903.

Recettes.

	fr
En caisse au 1er janvier 1903	10 568,40
Cotisations arriérées	560
— de l'année	977,40
— anticipées	80
Allocation ministérielle	600
Abonnements et vente du *Bulletin*	1 219,60
Rentes sur l'État français 3 %	264,50
Intérêts du compte de chèques à la Société Générale	36,40
Intérêts des sommes déposées à la Caisse nationale d'Épargne, à 2 1/2 %	94,07
TOTAL	14 400,37

Dépenses.

	fr
Bulletin, impression et port	1 742,75
— gravure	11,50
— rédaction et extraits	200
Administration, allocation au garçon de salle	200
— gratifications au concierge et au facteur de la poste (2 années)	44
— frais de bureau	178,55
Bibliothèque, abonnements	204,75
— reliure et frais divers	116,50
— assurance contre l'incendie	34,80
Achat de $\frac{1}{7}$ de franc, promesse de rente 3 %	18,76
Société Générale, droits de garde, timbres, frais de recouvrement	4,05
Solde en caisse au 1er janvier 1904	11 644,71
TOTAL	14 400,37

Notre fonds de réserve consiste aujourd'hui dans les valeurs suivantes évaluées au cours du 31 décembre dernier :

297^fr de rente française 3 % perpétuel à 97^fr,10..... 9 612^fr,80

ce qui, joint à l'encaisse à la même date, constitue un actif immédiatement réalisable de 21 257^fr,51.

Nous avons continué à encaisser cette année les souscriptions pour le monument des frères Haüy récemment inauguré à Saint-Just-en-Chaussée (Oise); nous les avons portées à un compte spécial et nous avons ainsi remis entre les mains du Comité du monument une somme totale de 521^fr,10.

Je termine en vous proposant le budget suivant pour l'année qui débute :

PROJET DE BUDGET POUR 1904.

Recettes.

	fr
Reprise sur l'encaisse précédente	2 953
Cotisations	1 600
Allocation ministérielle	600
Intérêts du fonds de réserve	297
Abonnements et vente du *Bulletin*	1 200
TOTAL	6 650

Dépenses.

	fr
Bulletin, impression et port	5 000
— gravure	500
— rédaction et extraits	500
Administration, allocation au garçon de salle	200
— frais divers	200
Bibliothèque, abonnements, reliures, assurances, etc.	250
Total	6 650

Le Trésorier,
L. BOURGEOIS.

M. Gentil donne lecture du Rapport suivant :

Les membres de la Commission de Comptabilité ont examiné les comptes de 1903 et ont constaté leur parfaite régularité. Ils proposent d'adresser tous les remercîments des Membres de la Société à M. le Trésorier.

Chabrié, Gentil, de Romeu.

Les remercîments sont votés à l'unanimité.

Il est procédé aux élections pour le renouvellement du Bureau de la Société.

Le dépouillement du scrutin donne les résultats suivants :

Présidence : M. H. Dufet obtient 35 voix; M. Offret, 5 voix. Il y a trois bulletins nuls.

En conséquence, M. H. Dufet est proclamé président.

Vice-présidence : M. Wallerant obtient 39 voix, M. de Gramont 34, M. Bertrand 1, M. Gonnard 1.

MM. Wallerant et de Gramont sont proclamés vice-présidents.

Sont renommés dans leurs fonctions pour 2 ans : M. Bourgeois, trésorier, et M. Richard, secrétaire pour l'étranger.

MM. Lacroix et Michel sont nommés membres du Conseil pour 2 ans.

En conséquence, le Bureau de la Société est constitué pour 1904 de la façon suivante :

Président : M. H. Dufet;
Vice-présidents : MM. Wallerant et de Gramont;
Trésorier : M. Bourgeois;
Secrétaires : MM. Blondel et Richard;
Archiviste : M. Herbette;
Membres du Conseil : MM. Gaubert, Lacroix, Michel, Pisani, de Schulten et Wyrouboff.

M. L. Michel, avant de céder le fauteuil de la présidence à M. H. Dufet, adresse ses remercîments à la Société. M. H. Dufet remercie la Société de l'honneur qu'elle lui a fait en l'appelant à présider ses séances.

M. le Président proclame membres de la Société :

M. Louguinine, professeur à la Faculté des Sciences de Moscou.

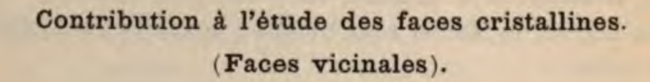
M. Jacques de Lapparent;

M. William J. Sutton, géologue, à Victoria (Colombie britannique).

M. Pisani présente une Note sur l'action radioactive de certains minéraux.

M. Bardet fait une communication sur le même sujet.

M. Lacroix présente un bel échantillon de kunzite taillée.



Contribution à l'étude des faces cristallines.
(Faces vicinales).

Par M. Paul Gaubert.

J'ai montré dans un travail antérieur (1) que les cristaux produits rapidement, ont en général des formes simples indépendantes du milieu ambiant. Les formes, qui prennent ainsi naissance, sont seulement une conséquence directe de la cohésion et il est fort probable que la théorie de Mallard (2) sur la formation des faces leur est applicable.

Lorsque la cristallisation est plus lente, les conditions extérieures interviennent, le milieu ambiant a une influence considérable : l'addition à l'eau mère d'une substance étrangère peut complètement modifier les formes, mais fréquemment les mêmes faces persistent. Dans ce cas les arêtes et les angles de ces dernières présentent des troncatures, des biseaux, produisant des facettes plus ou moins développées. Leur production est liée à la cohésion et aux actions capillaires, de telle sorte que la théorie de M. P. Curie (3) peut fournir l'explication de l'existence et du développement de toutes ces facettes secondaires.

J'ai indiqué ensuite que les figures irrégulières et les petites pyramides, qui se trouvent en plus ou moins grand nombre sur les faces (polyédrie de Scacchi), pouvaient devoir leur formation aux courants de concentration. C'est l'étude de ces dernières qui va être surtout l'objet du présent travail.

---

(1) Paul Gaubert, ce *Bull.*, t. XXV, 1902, p. 223-260.
(2) E. Mallard, *Traité de Cristallographie*, t. I.
(3) P. Curie, ce *Bull.*, t. VIII, 1885, p. 145.

Par conséquent, un cristal présente trois sortes de faces d'accroissement :

1° Faces formées par cristallisation rapide, dues seulement à la cohésion;

2° Faces formées par cristallisation lente et produites sous l'influence de la cohésion et des actions capillaires;

3° Faces produites par des courants de concentration tout à fait faibles et résultant de la cohésion, des actions capillaires et d'autres causes qui vont être étudiées plus loin.

Les faces de dissolution peuvent être dans quelques cas des faces simples, mais généralement elles ont des faces compliquées, comme dans les figures de corrosion et ressemblant beaucoup à celles qui limitent les petites pyramides d'accroissement.

Des expériences, faites sur le nitrate de plomb, montrent que le même cristal peut présenter dans une partie des faces fondamentales seulement, tandis que dans la partie opposée se trouvent des facettes secondaires. L'observation montre que la première partie du cristal est sous l'influence d'un courant de concentration, qu'elle s'accroît par conséquent rapidement, alors que l'autre région augmente lentement, n'étant que sous l'action de la diffusion.

Un cristal peut aussi s'accroître par certaines faces alors que d'autres de ces dernières, placées à une certaine distance des premières, peuvent être attaquées. Le même cristal présentera donc des faces d'accroissement et des faces de dissolution.

FACES VICINALES.

Dauber (1) a montré que les angles des faces des cristaux n'avaient pas toujours une valeur constante, mais A. Scac-

---

(1) H. Dauber, *Poggendorf Ann.*, t. CIII, 1858, p. 107.

chi ([1]) s'est occupé le premier des pyramides plus ou moins aplaties, remplaçant les faces cristallines à symboles simples, et des facettes n'obéissant pas à la loi des indices rationnels. Il a fait de nombreuses mesures montrant que l'angle de ces faces varie d'un cristal à l'autre; il a désigné le phénomène sous le nom de *polyédrie*. Dans son grand Mémoire, il étudie les corps chez lesquels la polyédrie s'observe dans plusieurs zones (fluorine, galène, etc.), ceux qui ne sont affectés que dans une seule zone (pyrite, etc.), et finalement la polyédrie indéterminée. Scacchi a cherché à établir des relations entre l'existence de ces faces anormales et les macles. Il admet, comme conséquence de ses observations, qu'une face cristalline peut présenter de faibles variations dans sa position.

Websky ([2]) a donné le nom de *faces vicinales* à celles qui ont des symboles compliqués et qui sont très voisines des faces ordinaires et il fait rentrer dans la polyédrie les faces qui ont leur cause dans une modification analogue de la structure interne et en particulier des macles et des groupements. Tschermak ([3]) et Zirkel ([4]) et d'autres auteurs admettent les définitions de Websky.

M. Wyrouboff ([5]) a proposé une explication de la polyédrie de la fluorine; se basant sur l'observation des figures de corrosion, il admet que les octaèdres élémentaires, formant les cubes, deviennent obliques aux faces sur les cristaux maclés, qui se gênent mutuellement dans le dépôt régulier de ces octaèdres.

Les faces vicinales ne seraient pas tout à fait irrégulières. Websky dans l'adulaire, von Zepharovich dans l'aragonite, Grunhüt dans la topaze, von Karnojitsky dans plusieurs mi-

---

([1]) A. Scacchi, *Sulla Poliedria delle Facce dei Cristalli*, Turin, 1862.

([2]) Websky, *Zeitsch. d. deutschen geol. Gesellsch.*, t. XV, 1862, p. 677.

([3]) Tschermak, *Lehrbuch der Mineralogie*.

([4]) Zirkel, *Elemente der Mineralogie*.

([5]) G. Wyrouboff, *Bull. de la Soc. chim. de Paris*, t. XII, 1869, p. 221.

néraux, etc., ont trouvé que les symboles des faces vicinales d'une même zone avaient fréquemment un indice commun.

Sadebeck (1) a admis que les cristaux étaient formés d'éléments très petits auxquels il donne le nom de sous-individus. Une partie de ces derniers se montrent sur les faces, les autres n'apparaissant que par dissolution lente du cristal. Les sous-individus se divisent en sous-individus de degré supérieur et sous-individus de degré inférieur. La forme du degré supérieur est celle de l'individu principal et limite, en général, les formes simples du cristal, tandis que les individus inférieurs limitent les formes vicinales. Ainsi dans le quartz, les sous-individus du premier degré forment la limite des faces ordinaires, c'est-à-dire les faces du prisme hexagonal e^2 et celles des deux rhomboèdres p et $e^{\frac{1}{2}}$ et, ceux du degré inférieur, les faces vicinales.

M. Max Schuster (2), qui a consacré un grand travail à l'étude des faces vicinales de la danburite, est arrivé à admettre que ces faces sont seulement une formation superficielle, n'ayant aucune influence sur les propriétés optiques. Elles doivent être considérées comme des combinaisons non développées.

Elles ne seraient pas non plus des anomalies, mais une apparition très régulière de la formation du cristal. Les nombreuses mesures qu'il a faites ont montré que les faces vicinales d'une même zone faisaient avec les autres faces des angles différents, mais les différences obéissent à une loi : elles sont égales ou multiples de la même quantité et forment par conséquent une progression géométrique.

M. Max Schuster pense que les faces vicinales doivent être considérées comme la manifestation de deux forces : une qui

---

(1) SADEBECK, *Abh. der Königl. Akad. der Wiss.*, Berlin, 1876, p. 118.

(2) MAX SCHUSTER, *Tschermak's Mitth.*, t. V, 2e série, 1883, p. 397-457 et t. VI, p. 301-514.

dépend de l'arrivée des nouvelles molécules déposées et de leur état, l'autre qui dépend de la face du cristal formé.

Elles paraissent induites par cette face, par le fait que leur formation dépend de cette dernière.

Max Schuster leur attribue une grande importance et pense que, dans un certain avenir, elles occuperont les cristallographes.

M. Hintze ([1]), qui a étudié les faces vicinales de la célestine de Lünebourg, a aussi constaté que ces dernières n'ont pas des indices rationnels et les a comparées aux faces de dissolution que présentent les faces corrodées des cristaux.

M. von Karnojitzky ([2]) distingue les faces vicinales en primaires, secondaires et tertiaires suivant que la constitution du cristal ou groupe d'individus est plus ou moins complexe. Il n'admet pas que les faces vicinales soient considérées comme de véritables faces à symboles compliqués. Cependant elles ne sont pas sans une certaine régularité, puisque les variations des angles sont dans des rapports rationnels simples (Jerofejeff) ([3]). Ainsi, pour le béryl des environs de Mursinka, les valeurs des angles du prisme hexagonal avec la face vicinale sont des multiples de 20″.

M. Beckenkamp ([4]), au cours de ses recherches sur la symétrie des cristaux, a développé une théorie de la formation des faces cristallines normales et des faces vicinales.

Le mouvement des molécules, à l'intérieur d'une solution, est dû, d'après ce savant, à la force de tension, ayant son origine dans la solution et à la force attractive du cristal. La

([1]) M. Hintze, *Zeitsch. f. Kryst.*, t. XI, 1886, p. 220.

([2]) Von Karnojitzky, *Zeitsch. f. Kryst.*, t. XXX, 1899, p. 303 et *Verh. d. Kais. russ. min. Gesellsch.*, série II, t. XXXIII, 1895, p. 65-228.

([3]) Jerofejeff, cité par v. Karnojitsky.

([4]) Beckenkamp, *Zeitsch. f. Kryst.*, t. XIX, 1891, p. 260; t. XXVIII, 1897, p. 69; t. XXXVI, 1902, p. 111.

force, due à la diffusion toute seule, ne disposerait pas régulièrement sur le cristal les nouvelles molécules. L'influence qui domine est, d'accord avec M. P. Curie, la tension superficielle à la surface du cristal.

Pour expliquer les faces vicinales, M. Beckenkamp admet ensuite que les molécules, qui se déposent, viennent se mettre dans le prolongement d'une couche déjà formée, mais il arrive aussi qu'une molécule se place sur la couche précédente et elle forme ainsi le noyau d'un nouveau dépôt de molécules. Il peut se former ainsi de nouvelles couches et, dans le cas où elles n'ont pas toutes la même étendue, elles donnent naissance à une ou plusieurs faces vicinales, qui sont formées par les plans limitant extérieurement les couches de molécules.

M. G. Wulff [1] attribue aux courants de concentration la production des faces vicinales. Dans la cristallisation, les molécules s'orientent sur les faces des cristaux sous l'influence de la force de cristallisation ; cependant les forces qui attirent la molécule dans les courants de concentration doivent aussi intervenir et M. G. Wulff admet que la molécule est orientée par la force résultante de celle de la cristallisation et celle des courants de concentration. Par conséquent, d'après cette supposition, la position des faces vicinales dépend des facteurs suivants : 1° de l'intensité du courant de concentration ; 2° de la direction de ce dernier par rapport à la face considérée ; 3° de la forme de cette face.

M. G. Wulff pense qu'on ne doit pas considérer les faces vicinales comme des faces ordinaires à symboles compliqués.

M. S. Weyberg [2] attribue aussi la production des faces vicinales aux courants de concentration. Ceux-ci arrivant par les bords d'une face, se rencontrent sur cette dernière. Le

---

[1] G. Wulff, *Zeitsch. f. Kryst.*, t. XXXIV, 1901, p. 461.
[2] S. Weyberg, *Zeitsch. f. Kryst.*, t. XXXIV, 1901, p. 530.

mouvement est ralenti là où les courants se touchent, et il y a une plus grande accumulation de matière et production des arêtes vicinales dans cette partie.

L'hypothèse de M. Wulff a a été combattue par M. Beckenkamp et par M. Viola.

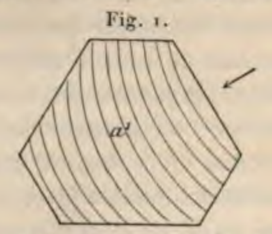
M. Miers [1] a fait dernièrement des expériences, montrant que les indices des faces vicinales varient avec les conditions de cristallisation et en particulier de la concentration.

D'autres auteurs se sont occupés des faces vicinales: je citerai en particulier les recherches de Franco [2] sur l'idocrase du Vésuve; de Becke [3], qui a décrit les faces vicinales de la dolomie de Léogang (d'après ce dernier savant, ces faces se sont formées par manque de matière); de Zepharovich [4] sur l'adulaire et de Palla [5] sur celles des faces (**111**) de la mésotype, les recherches théoriques de M. Goldschmidt [6], etc.

Origine des faces vicinales.

On sait que le cristal ne s'accroît pas toujours simultané-

Fig. 1.



ment sur toute sa surface et que les courants de concentra-

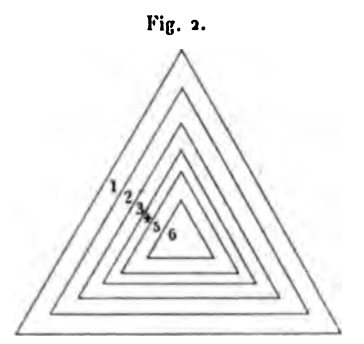
---

[1] MIERS, *Proceed. of the Royal soc.*, Vol. LXXI, 1903, p. 439-441.
[2] FRANCO, *Zeitsch. f. Kryst.*, t. XX, 1892, p. 616.
[3] BECKE, *Zeitsch. f. Kryst.*, t. XIX, 1891.
[4] VON ZEPHAROVICH, *Sitz. Ber. d. Kais. Akad. d. Wiss.*, Vienne, t. XCVIII, 1889, p. 404.
[5] PALLA, *Zeitsch. f. Kryst.*, t. IX, 1884, p. 386.
[6] V. GOLDSCHMIDT, *Zeitsch. f. Kryst.*, t. XXVI, p. 6; t. XXVIII, p. 7; t. XXIX, p. 46.

tion amènent de la matière au milieu d'une face (*fig.* 2) ou sur les bords (*fig.* 1) et qui de là se répand sur tout le cristal.

Dans le nitrate de plomb, qui montre bien le phénomène,

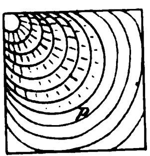
Fig. 2.



j'ai toujours observé que, quand les courants étaient visibles, le cristal s'accroissait assez rapidement pour que ses formes soient simples. Les cristaux se présentent dans ce cas en octaèdres réguliers.

Si les courants de concentration sont trop faibles pour que la couche partant du centre ou des bords (*fig.* 3) puisse cou-

Fig. 3.



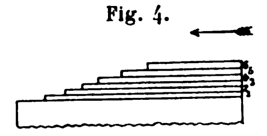
vrir toute la face, la matière cristalline peut former un dépôt à contours irréguliers qui n'ont aucune relation avec le réseau du cristal, ou bien qui sont en rapport avec la symétrie de ce dernier (*fig.* 2). La forme du dépôt irrégulier donne une idée de la direction du courant de concentration et paraît être influencée par celui-ci seulement (*fig.* 3). Mais généralement

la substance cristalline, arrivant sur une surface limitant un cristal de même nature, non seulement s'oriente sur ce dernier, mais prend aussi des contours extérieurs en rapport avec la symétrie du cristal.

Deux cas peuvent se présenter :

1° Le courant est tout à fait latéral. Il se produit une ou plusieurs faces faisant un angle très petit avec la face du cristal (*fig.* 4). Si les courants viennent simultanément sur

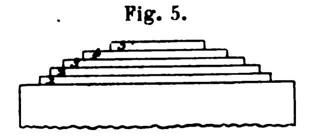
Fig. 4.



tout le contour de la face, on obtient un creux au centre. Les cristaux naturels présentent souvent ce fait, et en particulier la pyromorphite, etc.

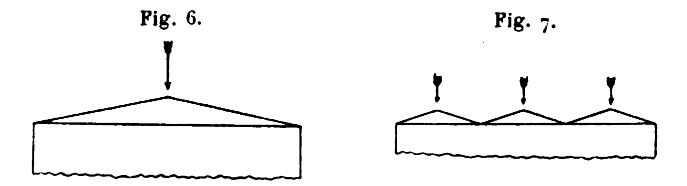
2° Le courant est vertical à la face ou est assez voisin de la

Fig. 5.



normale à cette dernière. Il se produit alors une (*fig.* 5) ou plusieurs pyramides (*fig.* 6 et 7), dont les faces sont simples

Fig. 6. Fig. 7.



(*fig.* 6 et 7) ou en escalier (*fig.* 5). Ces pyramides peuvent être aussi tout à fait irrégulières et ne pas avoir des faces

planes. Les stries présentées par ces figures montrent bien qu'elles se sont produites ainsi. Du reste je reviendrai sur cette question dans le cours de ce travail, en passant en revue un certain nombre de cristaux, les explications fournies dans ce Paragraphe ne servant qu'à guider le lecteur. La discussion de l'origine des faces vicinales sera donnée après l'exposition des faits qu'il s'agit d'interpréter.

Je considère comme pyramides vicinales toutes les figures en relief, grandes ou petites, se trouvant sur les faces, à l'exception de celles qui sont produites par corrosion et celles qui doivent être sûrement attribuées à la polyédrie de Websky.

Je vais passer successivement en revue les figures irrégulières, qui se trouvent sur les faces des cristaux, et ensuite les pyramides et faces vicinales, observées dans quelques substances appartenant aux différents systèmes cristallins. Quelques corps seulement ont été pris comme exemples, car, si les faces vicinales ne se trouvent pas sur tous les cristaux, elles existent sur quelques individus de toutes les substances.

FIGURES IRRÉGULIÈRES.

Pour montrer que les pyramides, attribuées à la polyédrie par Scacchi, sont bien produites sous l'influence des courants de concentration, je vais examiner quelques-unes des figures irrégulières observées sur les faces des cristaux.

On sait que, sur les faces cristallines, il existe fréquemment des figures en relief, ne présentant aucune sorte de régularité et dont le contour arrondi est plus ou moins net. Elles se montrent sur des cristaux artificiels (nitrate de plomb, aluns, sulfate de cuivre, etc.), aussi bien que sur les cristaux naturels.

Le cuivre gris de Saint-Pierre d'Allevard montre sur les faces du tétraèdre des figures tout à fait irrégulières.

Les cristaux de cassitérite présentent très souvent des

figures à forme très variée. Ceux de La Villeder sont remarquables à ce point de vue. Le courant de concentration est ici mis en évidence par la structure et la forme des irrégularités qui se trouvent sur les faces. Ces figures varient d'un échantillon à l'autre. Je veux ici seulement signaler les deux suivantes, représentées par les figures ci-jointes.

Dans le cristal (*fig.* 8) le courant de concentration est

Fig. 8.

arrivé sur l'arête $b^{\frac{1}{2}} b^{\frac{1}{2}}$ (111) (111) et a amené de la matière

Fig. 9.

cristalline sur les deux faces adjacentes. La limite des dépôts indique que ce courant s'est affaibli graduellement.

Le cristal représenté figure 9 montre que les deux cou-

rants sont arrivés sur les angles et ont formé des couches à contours concentriques.

Le fer oligiste du Puy de la Tache présente sur la base (**0001**) de fréquents exemples de ces figures irrégulières. Elles ont été décrites et figurées par M. A. Lacroix dans la *Minéralogie de la France*, t. III, p. 256, *fig.* 4 à 7.

Le carborundum offre aussi les mêmes figures sur la face a^1, qui est encore ici une face d'aplatissement, comme dans le fer oligiste.

En général ces figures se trouvent sur les faces les plus développées du cristal et on ne les observe que très rarement sur les faces étroites.

Le quartz montre, beaucoup plus fréquemment que les autres minéraux, de ces figures irrégulières. Ces dernières existent presque toujours sur les cristaux d'améthyste de l'Uruguay. L'examen de leur forme et des couches plus ou moins concentriques qu'elles présentent, leurs relations avec les arêtes du cristal et avec les cristaux voisins, montrent bien la direction du courant qui leur a donné naissance. Ainsi, comme l'indique la figure 10 sur la face *p*, deux cou-

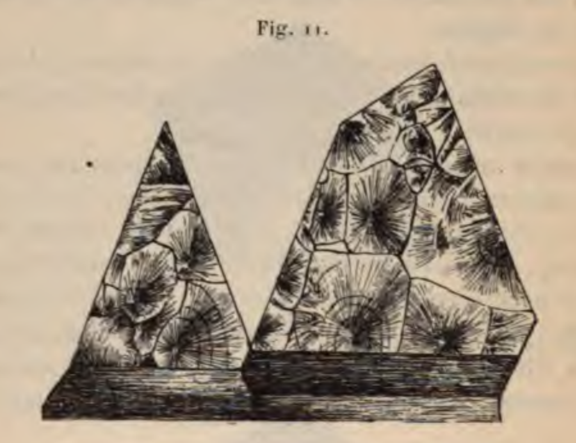
Fig. 10.

rants ont contribué à former les couches tout à fait extérieures. Entre les deux parties il y a une concavité.

La même figure représente trois faces de cristaux groupés dont les figures ont la même orientation, ce qui indique bien que le même courant a amené leur formation. Souvent le courant est aussi guidé, pour ainsi dire, par un des cristaux voisins. L'on verra plus loin que dans la fluorine le courant est presque toujours dirigé par l'autre individu maclé.

La figure 11 représente les deux faces adjacentes d'un cris-

Fig. 11.



tal de quartz enfumé de Florissant, qui sont couvertes de figures en relief, présentant des stries concentriques et radiées, et qui montrent que plusieurs courants de concentration ont amené la matière sur différents points à la fois des faces p et $e^{\frac{1}{2}}$. Ici le dépôt de substances a été tout à fait irrégulier et les contours des figures n'ont rien de géométrique.

La fréquence de l'accroissement irrégulier du quartz et de la cassitérite est peut-être liée à la facilité avec laquelle ces minéraux forment des concrétions (calcédoine et étain de bois).

Les cristaux de barytine de Damellington présentent des

figures très remarquables dont la surface extérieure est complètement arrondie.

Sur des cristaux d'adulaire du Saint-Gothard, on peut voir que les faces a^1 ont des figures en relief, dont la forme arrondie et irrégulière semble due à une concrétion.

On pourrait signaler des quantités d'autres exemples, mais ceux que je viens de citer sont en nombre suffisant pour montrer que, dans certains cas, la matière cristallisée ne se limite pas extérieurement par des faces planes. Cependant l'examen des clivages, des propriétés optiques montre que la substance, tout en présentant extérieurement une forme qui n'est pas en relation avec la structure cristalline, mais bien avec celle d'une substance amorphe, s'est orientée comme le reste du cristal et qu'elle en a toutes les propriétés. Sous l'influence de certaines conditions inconnues les faces n'ont pas pu se développer, mais je ne crois pas que le contour arrondi soit une conséquence directe des propriétés de la matière cristallisée et je le comparerai à celui des rubis de fusion, dont la forme extérieure est quelconque, alors que les molécules sont orientées comme dans un cristal limité par des faces cristallines.

M. Wyrouboff a dit, en effet, à la séance de décembre 1902 que les rubis obtenus en fondant de l'alumine par M. Verneuil étaient composés d'un cristal unique.

Je ferai encore remarquer que les courants de concentration agissent sur certaines faces plutôt que sur d'autres, qui n'attirent plus la matière cristallisée alors que les premières continuent encore à s'accroître. Ce fait, connu depuis fort longtemps, est surtout remarquable dans le diamant, dont l'accroissement se fait seulement par le milieu des faces de l'octaèdre. Comme on l'a déjà constaté, toutes les faces du diamant, à l'exception de a^1, sont formées par des couches qui sont parties du centre de la face a^1 et de là se sont étendues sur

tout le cristal. Mais la structure n'est pas schisteuse comme le prétend Sadebeck ([1]); les nouvelles couches apportées s'orientent comme les anciennes et, si le cristal est pur, s'il n'y a pas eu d'interruption dans l'accroissement du cristal, il n'y a pas eu de dépôt de matière étrangère, le cristal peut être complètement homogène. Il n'est nullement nécessaire de faire intervenir les sous-individus de Sadebeck. La forme fondamentale du diamant est l'octaèdre régulier. C'est la forme que présenteront tous les cristaux formés rapidement. L'accroissement se fait toujours par les faces de l'octaèdre, de telle sorte que les faces b^1, a^2 ne sont, en somme, que des faces vicinales.

Dans les cristaux à faces creuses, les courants amènent la matière sur les arêtes et la substance cristalline n'est pas en quantité suffisante pour se déposer sur les faces (cuprite).

Figures régulières.

Je vais passer en revue les faces vicinales de quelques substances cristallisant dans les différents systèmes, mais en étudiant d'une façon spéciale le quartz et la topaze.

Système cubique.

Fluorine. — Les figures ont été surtout étudiées par Scacchi dans la fluorine où elles sont en général assez irrégulières. On peut trouver tous les passages entre les figures tout à fait régulières et celles qui viennent d'être décrites. Scacchi ([2]) a montré qu'elles étaient en relation avec les macles. Dans la

---

([1]) Sadebeck, *loc. cit.* — E. H. von Baumhauer, *Arch. neerl.*, t. XVIII, 1881, p. 91.

([2]) A. Scacchi, *loc. cit.*, p. 6.

fluorine du Cumberland les cristaux ayant la forme de cubes sont maclés par pénétration suivant a^1. Les faces du cube sont remplacées par des pyramides, plus ou moins aplaties, dont le sommet se trouve presque toujours au point où une arête de l'autre individu perce la face considérée. Scacchi, qui a bien établi ce fait, a en outre montré la variation des angles de la pyramide d'un individu à l'autre. Ces pyramides sont quadrangulaires ou à huit faces. Dans le premier cas elles forment un cube pyramidé b^x, dans le second un hexakisoctaèdre.

Les faces de la pyramide ne sont pas formées par un plan, mais par une série de facettes les unes plus inclinées, les autres moins que la face du cube pyramidé. En somme cette dernière est la résultante de deux sortes de faces formant une espèce d'escalier, mais il n'en est pas toujours ainsi et l'on voit souvent des cristaux avec des pyramides à faces simples, mais souvent mates.

La forme fondamentale de la fluorine est le cube. L'examen des échantillons de diverses localités montre en effet que les cristaux, ayant les caractères de ceux qui sont formés rapidement, possèdent exclusivement cette forme. Les faces b^3 sont presque toujours des faces de dissolution et souvent b^1 (110) est dans ce cas. Elles sont ternes et montrent des stries, des rugosités, indiquant une attaque, qui est souvent confirmée par la corrosion des faces du cube ou de celles des pyramides surmontant le cube. Quant aux faces de l'octaèdre, elles ne sont pas très fréquentes dans la fluorine, et alors le cristal est formé de cubes, ou elles sont mates comme dans la fluorine rose du Saint-Gothard.

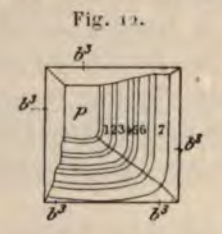
J'ai dit plus haut que les faces pyramidales étaient souvent la résultante d'autres facettes (*fig.* 12). La mesure des angles de ces dernières, sur un cristal de fluorine provenant de Gersdorf, a fourni les nombres suivants en partant du sommet de la pyramide ou plutôt de la face *n*. 2, 3, 4, etc.

désignent des couches formant la grande pyramide :

	° ′
p:2	0.6
2:3	0.2
3:4	0.5
4:5	0.1
5:6	0.2
6:7	0.4

L'angle de ces facettes, qu'on peut mesurer rarement avec la face p, va, par conséquent, dans ce cristal en augmentant,

Fig. 12.



mais il n'en est pas toujours ainsi et souvent cet angle avec la face p est presque le même ; quelquefois cet angle est même plus petit que 0°, c'est-à-dire qu'on a un angle rentrant.

Les faces vicinales de la fluorine sont données comme exemple de faces induites par M. Goldschmidt ([1]), qui explique leur formation de la façon suivante. Dans la fluorine, sur laquelle on observe les pyramides vicinales, un cristal perce la face d'un autre cristal. L'action des deux cristaux sur l'apport de matière agit dans le même sens de telle façon que les cavités des faces en escalier sont remplies et une face plus ou moins régulière se produit ainsi.

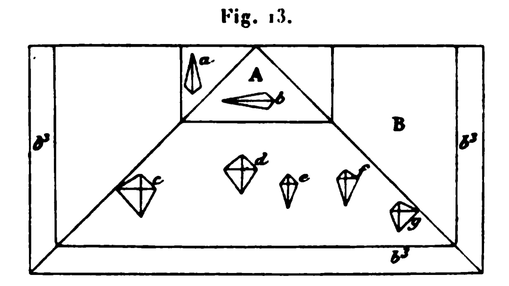
Von Lasaulx ([2]) a décrit les faces vicinales de la fluorine de Konigshayn. J'ai observé que ces faces, sur un cristal prove-

([1]) V. Goldschmidt, *Zeitsch. f. Kryst.*, t. XXIX, 1898, p. 46.
([2]) Von Lasaulx, *Zeitsch. f. Kryst.*, t. I, 1877, p. 359.

nant du Cumberland, montrent des figures en relief et des figures de corrosion. Les unes et les autres sont tantôt régulières, tantôt irrégulières. Ces deux sortes de figures s'observent sur la même face. L'irrégularité n'est pas en rapport avec la symétrie du cristal. Un examen attentif montre que la symétrie est parfois due à l'obliquité de la face qui les porte. En outre, à une petite distance de ces figures, il en existe dont le contour est tout à fait irrégulier.

Les figures en relief se trouvent près du sommet de la pyramide vicinale (*fig.* 13, *a*, *b*), alors que les figures en creux

Fig. 13.

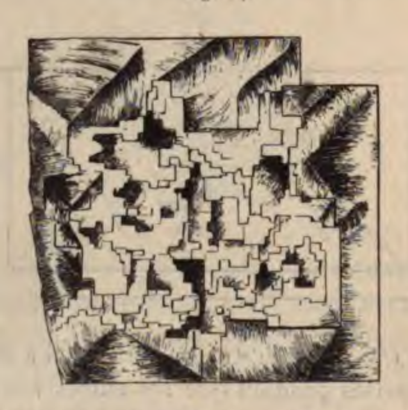


sont à la base (*fig.* 13, *c*, *d*, *e*, *f*, *g*). Le cristal a donc été attaqué sur des parties pendant que les autres sont restées intactes, probablement parce que la substance corrosive n'a agi que sur certaines parties ou encore, parce que le cristal n'avait pas une surface identique sur toutes ses parties. Les parties, formées en escalier, s'attaquent beaucoup plus facilement que les autres.

Je ferai remarquer, en passant, que l'asymétrie des figures en relief *a*, *b*, et des figures en creux *c*, *d*, *e*, *f*, *g*, est produite ici par une face vicinale. L'asymétrie est d'autant plus marquée : 1° que l'angle de la face *p* avec une face vicinale est plus grand; 2° que l'angle des faces, limitant les figures en relief ou en creux, avec la face *p* est plus petit.

Les cristaux de fluorine de Gersdorf présentent sur les faces du cube une pyramide, dans le cas où elles sont très petites; mais si les cristaux sont grands, il y a un grand nombre de figures et il est à remarquer que, dans le cas où la face du gros cristal est couverte de cubes plus petits et orientés comme les gros, le sommet des pyramides vicinales se trouve à l'angle d'un de ces cubes. Le courant de concentration qui a amené la substance formant les pyramides a été guidé par ces derniers (*fig.* 14).

Fig. 14.



Les pyramides vicinales de la fluorine de Gersdorf sont aussi formées de couches en escalier et, assez fréquemment, le contour au lieu d'être quadrangulaire est légèrement arrondi (*fig.* 14).

Sur les cristaux de fluorine d'Andreasberg, on observe quelquefois des figures en relief qui, au lieu d'être quadrangulaires, sont presque hémisphériques; cependant leur symétrie est légèrement indiquée.

Les pyramides vicinales de la fluorine de Gersdorf et d'Andreasberg sont plus aplaties sur les faces du cube que celles du Cumberland.

La *galène*, étudiée par Scacchi, possède assez souvent des pyramides vicinales sur la face du cube; tantôt elles sont formées d'une série de facettes (*fig.* 15), tantôt elles sont

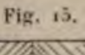


Fig. 15.

simples. Les faces de la pyramide ont le plus souvent pour base l'arête pa^1 (*fig.* 15), quelquefois aussi l'arête *pp*. M. A. Lacroix [1], qui a bien voulu mettre les deux figures ci-jointes à ma disposition, a signalé ces figures sur des cristaux de Pesey et du Derbyshire (*fig.* 16 et 17).

Fig. 16. Fig. 17.

Les pyramides peuvent être isolées ou être immédiatement en contact les unes avec les autres par leur base, de telle façon que la face du cube est partagée en parties à peu près égales.

---

[1] A. Lacroix, *Minéralogie de la France et de ses colonies*, t. II, 1897, p. 493, *fig.* 22 *et* 23.

La mesure des angles de ces pyramides (*fig.* 15) m'a fourni les résultats suivants :

	Pyramides			
	I.	II.	III.	IV.
$a:a'$	1°11′	1°12′	1°11′	1°10′
$b:b'$	1°18′	1°19′	1°19′	1°18′

Les quatre figures ont les angles respectifs aa' et bb' à peu près égaux, mais les deux angles aa' et bb' diffèrent entre eux d'une façon notable. Cette différence est en rapport avec l'allongement des figures dans la direction parallèle à l'intersection bb'. Un autre cristal, présentant sur trois faces une seule pyramide, occupant toute la face p et orientée comme les précédentes, a fourni les mesures suivantes sur ces faces :

	I.	II.	III.
$a:a'$	2°6′	2°5′	1°35′
$b:b'$	2°3′	2°12′	1°21′

La valeur des angles est encore ici en rapport avec le contour de la base de la pyramide.

L'*analcime* a aussi été étudiée par Scacchi. Les cristaux de l'île de Cyclops ont, sur les faces du cube, une ou plusieurs pyramides vicinales, beaucoup plus surbaissées que dans la fluorine, et en général à faces simples. Leur base est parallèle ou même coïncide avec l'arête pa^2 (100) (112). Les faces a^2 sont généralement dépourvues de figures en relief.

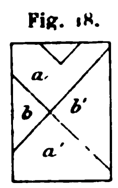
Sur un cristal dont la face du cube portant la pyramide vicinale était un rectangle, j'ai trouvé (*fig.* 18) :

$a:a'$	0°26′
$b:b'$	0°42′

La valeur des angles est en rapport avec la forme rectangulaire de la base de la pyramide.

Les petites pyramides qui se trouvent sur les faces du cube ont des angles plus aigus, comme cela a lieu dans beaucoup de cristaux.

Fig. 18.



La mesure de cinq petites pyramides d'une même face m'a fourni les résultats suivants :

	I.	II.	III.	IV.	V.
a:a'...	1°5'	1°12'	1°7'	1°9'	1°8'
b:b'...	0°56'	1°7'	1°6'	1°12'	1°1'

Toutes ces figures sont à faces à peu près parallèles comme dans la galène et ont leur contour carré.

Le *nitrate de baryte* montre, sur les faces de l'octaèdre, des figures triangulaires, formées par le courant de concentration, ayant leur sommet tantôt au centre, tantôt sur les bords. Elles sont composées de plusieurs couches limitées par les faces de l'octaèdre, de telle sorte que la pyramide vicinale a des faces formées d'autres facettes tout à fait évidentes. L'accroissement du cristal se fait d'après ces figures sur n'importe quel point de la surface, cependant beaucoup de cristaux ont les faces de l'octaèdre creuses pendant que les arêtes sont très vives. Le courant arrivant sur les arêtes n'a donc pu atteindre le milieu de la face. Les cristaux de cuprite, d'arsénolite, etc. montrent une formation semblable.

Sur le nitrate de plomb on observe le même phénomène. Les pyramides vicinales ne décèlent donc toujours pas la symétrie de la substance, puisque dans les deux nitrates examinés on a trouvé des figures holoédriques.

Le nitrate de baryte montre aussi sur la face p un biseau en relation avec l'hémiédrie. Les deux plans sont en zone avec pp. C'est la polyédrie dans une seule zone de Scacchi. Les angles varient, d'après les mesures faites sur une vingtaine de faces, de $0°30'$ à $3°40'$.

Sur des cristaux cubo-octaèdres, avec a^1 dominant, produits au fond d'un vase et reposant sur une face p, la face opposée à cette dernière et, par conséquent, la plus élevée dans le liquide possédait ces faces vicinales. Ces dernières sont plus ou moins striées, mais quelquefois elles sont dépourvues de stries.

Le *grenat topazolite* porte toujours, sur les faces du dodécaèdre rhomboïdal b^1, des pyramides quadrangulaires, dont le centre est sur n'importe quel point de la face. Mallard (¹) a constaté le fait et remarqué que l'existence de ces petites facettes était liée à la structure optique des cristaux. On trouve quelquefois deux, trois pyramides et même davantage, toutes ayant la même orientation.

Le grenat topazolite n'est pas le seul à présenter ces facettes. On les trouve aussi sur le grenat *grossulaire d'Ala*. Mais, tandis que dans le grenat topazolite, le dodécaèdre rhomboïdal existe seul, dans le grossulaire, le dodécaèdre peut être associé à d'autres formes à symboles plus compliqués. Les petites pyramides existent seulement sur b^1 (110).

Les angles observés sur les faces de trois cristaux sont les suivants (*fig.* 19) :

	I.	II.	III.
$a:a'$	0°56′	1°42′	0°25′
$b:b'$	0°44′	1°41′	0°20′

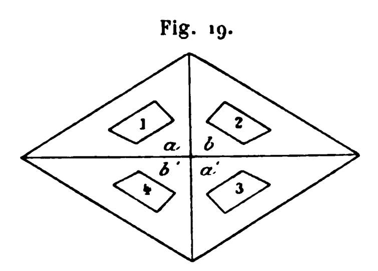
Les cristaux de grenat almandin ont aussi ces pyramides sur les faces du dodécaèdre et la collection du Muséum possède

(¹) E. Mallard, *Annales des Mines*, 7ᵉ série, t. X, 1876.

un cristal dont la face b^1 est couverte d'une grande quantité de figures en relief ayant la même forme que les pyramides uniques.

Les cristaux de ***grenat spessartite*** de l'île d'Elbe ont les formes b^1 a^2 (110) (211) également développées. Sur b^1 on trouve

Fig. 19.



une, quelquefois quatre pyramides vicinales à faces parallèles ayant souvent des stries sur les faces. Les pyramides sont placées comme dans le grenat topazolite (*fig.* 19).

La mesure des cristaux a fourni les résultats suivants :

Premier cristal :

$a:a'$	1°
$b:b'$	0°46′

Deuxième cristal; face b^1 couverte par quatre pyramides vicinales :

	I.	II.	III.	IV.
$a:a'$	2°23′	2°20′	2°22′	2°15′
$b:b'$	2°24′	2°18′	2°20′	2°14′

Dans le premier cristal la pyramide est irrégulière, dans le deuxième les pyramides sont quatre fois plus petites que la face b^1. On voit comme précédemment que les angles sont d'autant plus aigus que les figures en relief sont plus petites.

La face a^2 (112) est striée parallèlement à sa plus grande longueur, c'est-à-dire à l'arête $a^2 b^1$. Ces stries sont dues à l'inter-

section de deux sortes de faces vicinales *c* et *d*. Des mesures faites sur les différentes faces d'un même cristal ont donné les résultats suivants :

I.	*c* : *d*	2°.13
II.	»	3.21
III.	»	2. 8
IV.	»	2.13
V.	»	2.50

Sur le deuxième cristal on a :

I.	*c* : *d*	2°. 5′
II.	»	2.19
III.	»	6.55

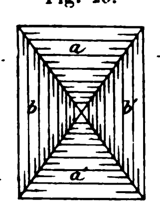
Ces angles varient donc sur la même face.

Les figures de corrosion du grenat spessartite sont assez intéressantes. Un cristal de l'île d'Elbe a été plongé pendant quelques minutes dans l'acide fluorhydrique du commerce bouillant. Les faces b^1 se sont recouvertes de petites figures, ayant la forme losangique et dont les côtés sont parallèles à ceux de la face (*fig.* 19, 1, 2, 3, 4). Un examen attentif montre que ces figures sont un peu asymétriques et que le côté tourné vers le centre est plus petit que celui qui lui est opposé et qui est plus près de la base. L'asymétrie de ces figures peut être attribuée à l'obliquité des faces vicinales sur les faces du dodécaèdre rhomboïdal, si l'on considère le cristal de spessartite comme cubique, ou à ce que le grenat est composé de quarante-huit cristaux groupés (Mallard). Sur une face b^1 polie de façon que les faces vicinales disparaissent, les figures de corrosion produites dans les mêmes conditions sont presque toujours des losanges sur toute la surface polie, cependant elles sont quelquefois asymétriques, mais la division en secteurs correspondant aux faces vicinales n'est pas évidente.

Système quadratique.

Les cristaux de wulfénite de l'Arizona sont aplatis suivant la base *p* (001) et cette dernière est presque toujours surmontée d'une pyramide ayant la même forme que celle de la fluorine. Comme celles de ce minéral, elle rappelle les pyramides du sel marin. Son sommet est souvent au centre et, dans beaucoup de cas, il est placé au point où d'autres cristaux de wulfénite coupent la base, comme cela a lieu dans la fluorine de Gersdorf. Des cristaux ont aussi plusieurs de ces pyramides. La valeur des angles des faces opposées de la pyramide dépend, comme dans l'analcime et dans les autres cristaux cubiques examinés, de la base. Si la base est carrée ces angles sont égaux, et inégaux si la base est un rectangle.

Fig. 20.



L'angle le plus faible correspond aux faces dont la base est plus petite que celle des deux autres.

J'ai mesuré beaucoup de cristaux, voici quelques-unes des valeurs des angles trouvés (*fig.* 20).

Premier cristal :

a : *a'*	1°10'
b : *b'*	1°50'

Deuxième cristal :

a : *a'*	3°23'
b : *b'*	4°9'

Le troisième cristal comprend plusieurs pyramides dont les faces paraissent tout à fait planes :

$a:a'$	0°37′
$b:b'$	1°20′

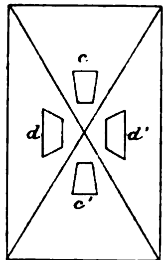
Ici dans cette espèce l'angle est très variable d'un échantillon à l'autre.

L'*idocrase* montre assez fréquemment des pyramides vicinales sur les faces p (001) et sur les faces du prisme (100). Prendel (¹) a figuré celles de l'idocrase de Wiloui. Celles de la base sont tout à fait brillantes et très aplaties. Ici encore la valeur des angles opposés de la pyramide est en relation avec la forme de la base. J'ai observé sur un cristal du Vésuve :

$a:a'$	0°10′
$b:b'$	0°19′

Sur les faces du protoprisme la pyramide est aussi quadrangulaire et les bases de ses faces correspondent respectivement

Fig. 21.



aux arêtes pm^1 et mh^1. Les faces sont recouvertes d'autres figures en relief très petites, de telle sorte que les faces ne sont pas très brillantes (*fig.* 21). Cependant les angles peuvent être mesurés assez exactement et l'on a :

$c:c'$	0°45′
$d:d'$	1°14′

(¹) Prendel, *Abh. neuruss. naturforsch. Ges.* Odessa, t. XII, 1887.

Dans ce cristal, allongé suivant l'axe vertical, les faces *c* et *d* n'étant pas de même nature, la différence des angles ne peut être attribuée, comme dans les cristaux cubiques ou sur les faces de la base du système tétragonal, aux dimensions relatives des côtés du rectangle. Sur un autre cristal, dans lequel la face *m* était un carré à peu près parfait, les angles ont été trouvés :

$c:c'$	1°2′
$d:d'$	1°8′

La forme du contour paraît donc encore intervenir.

Sur le cristal (*fig.* 21) des figures en relief, à contour géométrique régulier, couvrent la pyramide vicinale qui a été mesurée. Ces figures en relief sont ici intéressantes, car elles montrent bien l'influence de l'obliquité des faces sur la forme des figures. Sur chaque facette de la pyramide ces éléments ont une forme différente et symétrique (*fig.* schématique 21).

Les faces du prisme et de la base sont aussi couvertes de figures en relief quadrangulaires et limitées par *p* ou *m* et sur leurs bords par une face cristallographique simple.

La *cassitérite*, comme je l'ai indiqué plus haut, montre fréquemment des figures dont le contour est tout à fait irrégulier; ses cristaux présentent aussi, sur les faces du prisme, des pyramides très surbaissées et ayant pour base la face ou une partie de cette dernière. Dans ce cas il peut exister plusieurs pyramides vicinales. Toutes celles que j'ai observées étaient très aplaties et, en général, à faces très brillantes. Les résultats des mesures goniométriques sont les suivants (*c c′ d d′* ont la même signification que dans la figure 21) :

$c:c'$	0°25′
$d:d'$	0°30′

Les cristaux de cassitérite de Schlaggenwald portent sur les faces *m* (110) des figures en relief quadrangulaires, dont la

symétrie est celle de la face. L'angle des faces de ces pyramides est de 3° à 4°. Comme elles n'étaient pas planes, dans les échantillons que j'ai eus à ma disposition, une mesure précise n'a pu être faite.

Les cristaux d'*anatase* du Brésil sont très souvent des pyramides vicinales sur les faces de la base *p* (001). Le sommet de la pyramide n'est pas toujours au centre et la valeur des angles, comme dans le cas précédent, dépend du contour de la pyramide. Quand l'une des faces est très peu développée, le sommet de la pyramide étant près du bord, elle est fréquemment striée.

Les pyramides sont très surbaissées, comme l'indiquent les valeurs suivantes (*aa' bb'* ont la même signification que dans la figure 20) :

	I.	II.	III.	IV.
a : *a'*........	0°20′	0°24′	0°18′	0°22′
b : *b'*........	0°25′	0°27′	0°19′	0°25′

Système rhomboédrique.

Sur les faces du *fer oligiste* se trouvent assez souvent des figures en relief. Les plus remarquables peut-être sont celles qui existent sur la base. Elles ont des formes tout à fait régulières. M. Lacroix (¹) les a signalées et décrites. L'oligiste de l'île d'Elbe a été étudié pour les faces vicinales par Websky.

Les pyramides qui sont sur *p* sont limitées par des faces striées. Deux sont en zone avec pe_3 et font un angle très petit avec la grande face portant la pyramide.

La valeur des angles varie de 0°5′ à 1°5′.

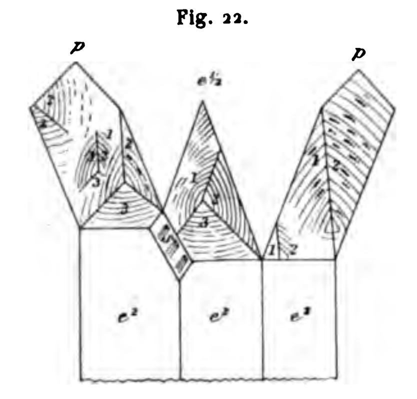
Ces figures sont identiques comme forme apparente à celles qui se trouvent sur l'axinite.

(¹) A. Lacroix, *Minéralogie de la France et de ses colonies*, t. III, p. 1901.

Toutes les faces de la calcite sont presque toujours couvertes de petites figures vicinales, dont la symétrie est celle de la substance. Le but de ce travail n'étant pas de faire une description de ces pyramides, mais de chercher la cause des faces vicinales, j'ai laissé de côté celles de la calcite, dont la description m'aurait entraîné beaucoup trop loin.

Le *quartz* est tout à fait remarquable par l'abondance des figures qui couvrent ses faces ([1]). Nous avons déjà vu que les cristaux à faces simples, c'est-à-dire s'étant formés rapidement, avaient des figures irrégulières; les cristaux transparents, semblant parfaits en apparence, ont généralement les faces des rhomboèdres p et $e^{\frac{1}{2}}$ couvertes de ces figures régulières, qui sont petites, les unes sur les autres, et quelquefois aussi

Fig. 22.



très grandes, atteignant parfois $1^{cm},5$. Elles sont alors en petit nombre (*fig.* 22). Sur la même face elles sont toujours très régulières; les arêtes de la pyramide, qui est ici trian-

([1]) Voir les descriptions des accidents qui se trouvent sur les faces des cristaux de quartz, dans les deux Mémoires de Friedrich Scharff, *Uber der Quarz* (*Abh. der Senckenb. Naturf. Gesellsc.* Frankfurt A. M., vol. III, 1859 et vol. IX, 1874).

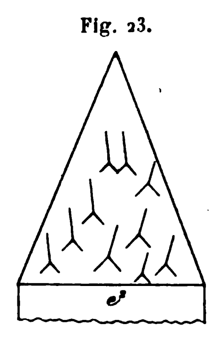
gulaire, sont parallèles les unes aux autres et les faces sont aussi à peu près parallèles, comme l'indique la mesure des angles de ces pyramides, mesure qui ne peut être faite que si les figures sont assez grandes. Pour faire plus commodément ces déterminations, les cristaux étant trop grands pour être mesurés au goniomètre, j'ai fait tailler des plaques parallèlement aux faces p et $e^{\frac{1}{2}}$. Sur l'un des cristaux j'ai trouvé (voir *fig.* 22 pour la signification des chiffres 1, 2, 3) :

	Figures		
	I.	II.	III.
1 : 2................	0°.55'	0°.36'	0°.50'
2 : 3................	0.43	0.39	0.40
3 : 1................	0.57	0.47	0.52

Les différences sont en somme appréciables, mais beaucoup plus petites que dans la plupart des cristaux examinés jusqu'ici.

La mesure des angles plans faite par les arêtes de ces pyramides triangulaires avec l'arête $pe^{\frac{1}{2}}$ a fourni les résultats suivants qui ne sont pas aussi précis que les précédents, les

Fig. 23.



mesures ayant été faites avec le microscope en amenant la coïncidence des arêtes avec le fil du réticule. Comme ces arêtes

ne sont pas visibles au microscope, je les ai tracées à l'encre. Les résultats des mesures sont les suivants :

Angle plan arête $pe^{\frac{1}{2}}$: arête 12 = 40°

12 : 23	131°
23 : 12	136
23 : 13	72

Sur un cristal dans lequel la figure était très régulière et couvrait toute la face, j'ai observé pour les angles dièdres :

1 : 2	0°.9
2 : 3	0.4
3 : 1	0.7

J'ai observé sur trois cristaux, dans lesquels on n'observait que les parties 1 et 3 qui couvraient toute la face, les angles suivants :

	I.	II.	III.
1 : 3	0°19′	0°21′	0°15′

Dans trois cristaux l'arête 23 faisait avec l'arête $pe^{\frac{1}{2}}$ un angle de 2° ou 3° seulement. Quelquefois l'angle 1 : 3 est petit par rapport aux deux autres et alors la figure est tout à fait irrégulière. J'ai observé sur trois cristaux :

	I.!		
1 : 2	0°.24	0°.17	0°.30
2 : 3	0.23	0.15	0.29
1 : 3	0.2	0.2	0.4

Les figures en relief du quartz sont fort intéressantes, car elles permettent, comme les figures de corrosion du cristal, en l'absence des faces rhombes et des faces plagièdres, de reconnaître si l'on a affaire à un cristal droit ou gauche et aussi les macles (*fig.* 23). Les figures qui se trouvent sur *p* sont dirigées ou plutôt leur arête 12 vers la gauche du cristal

ou légèrement à droite suivant que le cristal est droit ou gauche.

La mesure des angles a montré que, sur la même face, il y avait quelquefois des variations assez grandes avec les figures, cependant ces dernières ont les arêtes à peu près parallèles. Les mesures ne sont pas toujours très exactes, les facettes des pyramides en relief étant souvent arrondies. En outre, ces facettes sont fréquemment striées, surtout la face 3, et les stries sont courbes et ont leur concavité dirigée vers le sommet de la pyramide (*fig.* 22). Cette structure indique que la matière est arrivée par le sommet de la figure en relief et s'est de là répandue sur les trois faces vicinales.

Les petites figures en relief, situées sur les faces du prisme e^2, sont souvent irrégulières, mais les cristaux de Herkimer montrent assez fréquemment des figures, dont la forme est en relation avec la symétrie du cristal, de telle sorte qu'elles permettent de distinguer, encore plus facilement que celles des faces de la pyramide, si un cristal de quartz est droit ou gauche. Dans un cristal de quartz orienté de telle façon qu'étant placé verticalement la face p soit vis-

Fig. 24.

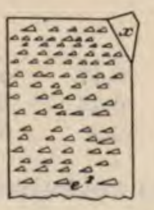
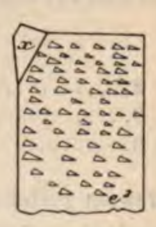


Fig. 25.



à-vis de l'observateur, les figures qui ont la forme d'un triangle scalène ont le petit côté tourné à droite (*fig.* 24), dans un quartz droit, et à gauche dans un cristal gauche (*fig.* 25). Le plus grand côté du triangle est horizontal et le sommet

opposé à ce dernier est vers la face *p*. Les figures ci-jointes sont plus explicites qu'une plus longue description.

Ces pyramides en relief sont très petites et il ne m'a pas

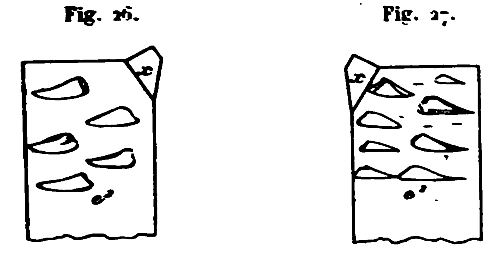


Fig. 26. Fig. 27.

été possible de mesurer l'angle de leurs trois faces. Il est aussi à remarquer qu'elles ont une forme inverse des figures de corrosion naturelles. Elles n'ont pas toujours des contours très réguliers, bien que leur forme indique cependant la symétrie du quartz (*fig.* 26 quartz droit et 27 quartz gauche).

On voit donc qu'il suffit d'une partie seulement de la face du prisme e^2 d'un cristal pour reconnaître si un cristal est droit

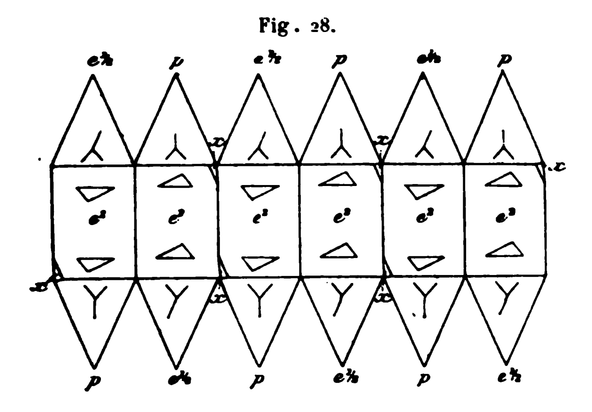
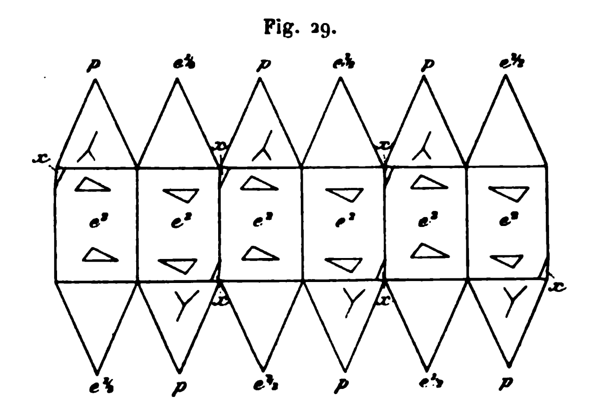


Fig. 28.

ou gauche. Avec un peu d'exercice, on peut arriver à ce résultat avec des figures encore beaucoup moins bonnes que celles qui sont représentées figures 26 et 27.

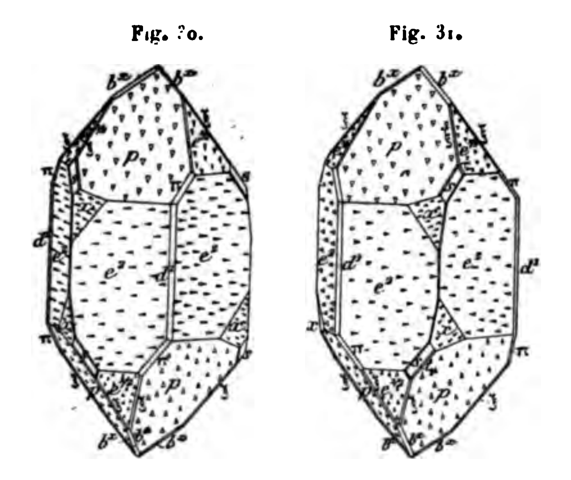
Les figures schématiques 28, qui représente un cristal

Fig. 29.



droit, et 29, qui représente un cristal gauche, résument les

Fig. 30. Fig. 31.



propriétés des figures en relief du quartz.

Les figures 30 et 31, extraites de la *Minéralogie de la France* de M. Lacroix (t. III, p. 36, *fig.* 12 et 13) montrant les figures

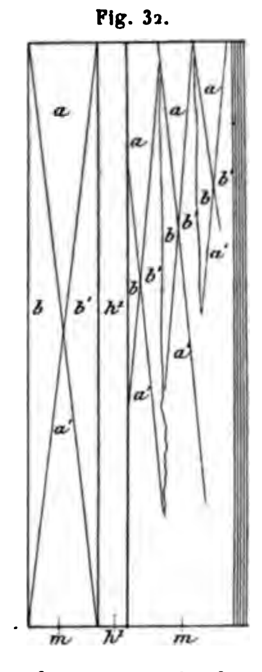
de corrosion naturelle du quartz, d'après Molengraaf, et comparées aux figures 24 à 29, ont été mises ici pour indiquer la différence existant entre les figures en relief et en creux.

La face rhombe *s* et les faces plagièdres du quartz ont souvent des figures en relief. M. Lacroix [1] en a décrit et figuré de très belles sur les faces.

Système hexagonal.

L'apatite a des pyramides vicinales sur la base *p* et sur les faces *m* du prisme. Les faces de la pyramide située sur la

Fig. 32.



base (0001) sont dans la zone *mp*. Quelquefois plusieurs pyramides se trouvent sur le même individu. Elles sont très

(1) A. Lacroix, *Minéralogie de la France*, t. III, 1er fasc., 1901, p. 36.

aplaties et les angles formés par deux faces opposées *aa'*, *bb'*, *cc'* sont les suivants :

	I.	II.
aa'	0°.22	0°.18
bb'	0.21	0.17
cc'	0.23	0.18

La face *p* n'est pas toujours simple; elle a une ou deux grandes faces vicinales. Dans un cas, j'ai trouvé que l'angle avec le plan *p* était de 10'.

Les cristaux d'apatite de Jumilla présentent presque toujours des pyramides vicinales sur les faces *m*, les autres faces en sont dépourvues; il en a été ainsi sur tous les cristaux que j'ai examinés. La pyramide est formée par quatre faces ayant le sommet vers le centre de la face et pour bases les arêtes *pm* et *mp*. Ces faces vicinales sont brillantes et ne présentent aucune strie apparente (*fig.* 32).

La mesure des angles a fourni les résultats suivants :

Premier cristal, quatre faces observées, les deux autres étant mauvaises.

	Pyramides			
	I.	II.	III.	IV.
aa'	0°.12'	0°.10'	0°.9'	0°.13'
bb'	1°.30'	1°.22'	1°.17'	1°.31'

Le cristal était très allongé suivant l'axe vertical et les angles de la pyramide semblent dépendre de cet allongement.

Deuxième cristal :

	Première face.	
aa'	0°.15'	0°.13'
bb'	1°.25'	1°.22'

La même face porte quelquefois plusieurs pyramides distinctes les unes des autres ou s'enchevêtrant plus ou moins. Il arrive aussi que deux facettes seulement existent. Elles sont

placées comme l'indique la figure 32. Dans quelques cas une partie de la face m adjacente à la face h^1 est pourvue de stries extrêmement fines, parallèles à l'arête mh^1. Je n'ai pas observé de pyramides sur cette partie ainsi striée.

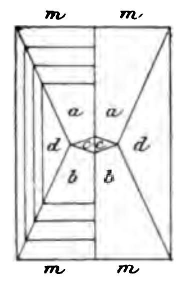
Les figures de corrosion produites sur l'apatite n'ont pas mis en évidence les différentes faces de la pyramide, elles font avec m un angle trop aigu. Aussi, elles sont identiques sur toute la face.

Sur la pyromorphite je n'ai pas vu de pyramides vicinales; il est vrai que je n'ai pu observer qu'un assez petit nombre de cristaux.

Système rhombique.

La *topaze* m'a fourni des faits assez intéressants. Les cristaux que j'ai étudiés proviennent de Deseret, Utah. Ces cristaux ont été déjà décrits par W. Cross (¹) et par H.-N. Alling (²), qui ont signalé les formes $b^{\frac{3}{4}}$ (223), $b^{\frac{1}{2}}$ (111), $b^{\frac{1}{4}}$ (221), $b^{\frac{1}{8}}$ (441), p (001), m (110), g^1 (010), g^3 (120), $a^{\frac{1}{2}}$ (201), e^2 (021), $e^{\frac{1}{4}}$ (041).

Fig. 33.



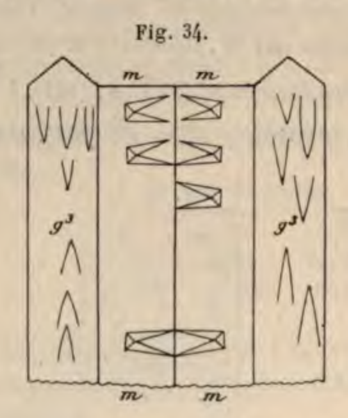
Les différentes faces sont souvent couvertes (les faces m le

(¹) W. Cross, *Amer. Journ. of Sc.*, t. XXXI, 1886, p. 432.
(²) Alling, *Amer. Journ. of. Sc.*, t. XXXIII, 1887, p. 146.

sont presque toujours) de petites pyramides dont la forme est en rapport avec la symétrie de la face. Sur les faces *m* de la topaze de San-Luis Potosi, M. Pelikan [1] a signalé ces figures auxquelles il attribue le caractère de sous-individus. Je vais passer en revue celles qui se trouvent sur les différentes faces.

Celles de la face *m* sont les plus instructives. Elles sont formées par une pyramide quadrangulaire (*fig.* 33), les deux faces *cd* sont dans la zone *mm*, les deux autres *ab* dans la zone *mp*; mais, dans la plupart des cas, ces figures en relief sont légèrement irrégulières et, comme l'irrégularité est la même sur tout le cristal, on est amené à penser que la topaze est une substance qui n'est pas holoédrique (*fig.* 34). Ces figures sont plus ou moins grandes suivant les individus,

Fig. 34.



tantôt leurs faces paraissent tout à fait lisses (*fig.* 33, pyramide droite), tantôt elles présentent des stries parallèles à leur base (*fig.* 33, pyramide gauche).

Comme celles du quartz, ces figures paraissent être tout

(1) A. Pelikan, *Tschermak's Mittheilungen*, t. XI, p. 331-348.

à fait régulières et être toutes identiques les unes aux autres, aussi je vais donner un tableau d'angles beaucoup plus complet que pour les autres espèces, afin de fixer les idées sur la variation des angles de ces figures.

Premier cristal (même face *m*) :

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
a : *b*......	0°14′		0°14′	0°21′	0°18′	0°14′
c : *d*......	1°4′	1°6′	0°55′	0°55′		

Deuxième cristal (I et II appartiennent à une face *m*, III et IV à une autre) :

	I.	II.	III.	IV.
a : *b*............	0°20′	0°13′	0°20′	0°18
c : *d*............	1°16′	1°	1°8′	1°6′

Troisième cristal (figures de la même face) :

	I.	II.	III.	IV.	V.
a : *b*.......	0°13′	0°15′	0°14′	0°13′	0°23′
c : *d*	1°2′	0°57′	0°59′	1°	0°58′

Quatrième cristal :

	I.	II.	III.
a : *b*..................	0°12′	0°19′	0°15′
c : *d*..................	1°	1°8′	1°5′

Les grandes figures couvrant toute la face *m* ou, du moins, tenant toute sa largeur, ont fourni les angles suivants; la face ***d*** est la plus nettement striée, *c* ne l'étant presque jamais, aussi les mesures laissent à désirer :

	I.	II.
c : *d*......................	1°	0°54′
a : *b*......................	1°6′	
a : *d*	0°6′	

Malgré la divergence des nombres, il y a une certaine con-

stance des angles; les mêmes valeurs se retrouvent même fréquemment.

J'ai dit plus haut que dans presque tous les cristaux les figures étaient asymétriques. En outre, celles d'une face *m* sont symétriques de celles de la face voisine. Tout tend donc à montrer que la topaze est bien hémimorphe. Un examen plus attentif montre que l'asymétrie peut être attribuée à une tout autre cause.

La face *m* est couverte quelquefois d'une très grande pyramide l'enveloppant entièrement (*fig.* 33) ou de deux (*fig.* 35).

Une de ces dernières porte elle-même de petites pyramides (*fig.* 35). J'ai observé un échantillon qui montre bien l'influence

Fig. 35.

des faces vicinales sur les figures en relief ou les figures de corrosion. En effet, les figures couvrant, dans l'échantillon considéré, les faces de la pyramide *a* sont asymétriques comme aussi celle de la face *b*; mais chacune des deux faces est symétrique à l'autre par rapport à un plan transversal (*fig.* 34 et 35). La face *d* est striée et ne porte pas de figure pas plus que *c*.

Comme l'a indiqué M. Pelikan, les topazes de San-Luis Potosi ont souvent des petites pyramides en relief. Elles sont un peu différentes de celles de Deseret, ne sont pas asymétriques comme ces dernières et sont toujours couvertes de stries

parallèles aux arêtes *mm* et *mp*. Presque toujours elles sont tronquées au sommet par un plan parallèle à *m*. Elles semblent montrer que les faces de la pyramide vicinale ne sont que des faces résultantes et indiquent bien l'influence des courants de concentration.

J'ai trouvé pour les angles (valeur moyenne) :

a : *b*..........................	0°45′
c : *d*..........................	2°40′

Quelquefois la pyramide est tronquée près de sa base, la figure prend la forme tabulaire. Une figure avec de bonnes faces m'a donné les résultats suivants :

a : *b*..........................	1°45′
b : *c*..........................	2°9′
a : *c*..........................	3°54′

La face tronquant la pyramide est parallèle à *m*.

Les deux autres facettes n'ont pu être mesurées sur aucun échantillon.

La topaze de Durango montre aussi des figures semblables.

Les faces g^3 (Deseret) sont couvertes de ces figures, mais leur forme est beaucoup moins nette et souvent elles sont tout à fait arrondies. Dans quelques cas elles sont asymétriques et semblent prouver comme les figures de la face *m* l'hémimorphie de la topaze (*fig.* 34).

La face $b^{\frac{1}{4}}$ (221) est presque toujours partagée en deux, trois parties et quelquefois davantage.

Elle présente rarement des stries et chaque partie de la face donne des images très nettes, à l'exception des bandes étroites.

Les faces sont en zone avec $mb^{\frac{1}{2}}$. On observe les deux types suivants :

La face $b^{\frac{1}{4}}$ ne comprend que deux parties 1, 2 qui ne forment pas d'angle rentrant (*fig.* 36, ligne à gauche).

La face est formée par plus de deux bandes et alors il y a une alternance d'angles rentrants avec des angles en relief.

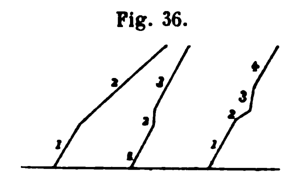
Voici quelques-uns des angles mesurés :

Cristaux avec deux faces seulement.

	I.	II.	III.	IV.	V.
1:2......	1°	1°20′	1°23′	1°26′	1°29′

Les cristaux suivants sont plus complexes, mais les profils

Fig. 36.



ci-contre suffisamment explicatifs pour la compréhension de la structure de la face (*fig.* 36, ligne du milieu et de droite).

Cristal (*fig.* A).

1:2...........................	1°.25′
2:3...........................	0. 5
3:4...........................	0.30

Cristal (*fig.* B).

1:2...........................	1°.15′
2:3...........................	0.36
3:4...........................	0.16

Cristal (*fig.* C).

1:2...........................	1°23′
2:3...........................	1°23′

Cristal (*fig.* D).

1 : 2	0°28
2 : 3	0°36′

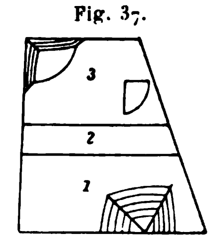
Cristal (*fig.* E).

1 : 2	0°45′
2 : 3	0°44′

Souvent les deux faces ont un développement inégal, la face 1 étant beaucoup plus petite que l'autre.

L'une d'elles correspond-elle à $b^{\frac{1}{4}}$ (221) et alors laquelle? Il n'est pas facile de mesurer exactement l'angle $b^{\frac{1}{4}}m$, m étant

Fig. 37.



presque toujours couvert de faces vicinales. La mesure qui me paraît plus exacte est $pb^{\frac{1}{4}}$.

J'ai obtenu les résultats suivants avec des cristaux à faces 1 et 2 :

	I.	II.	III.	IV.	V.
$pb_1^{\frac{1}{4}}$	64°37′	65°10′	64°55′	65° 4′	65°14′
$pb_2^{\frac{1}{4}}$	63°53′	63°54′	63°52′	63°51′	63°52′

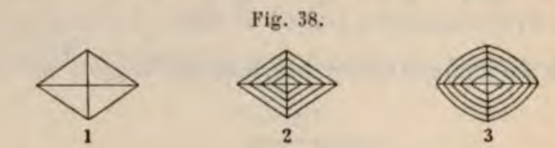
D'autres cristaux dans lesquels la face $b^{\frac{1}{4}}$ était simple ont été mesurés :

	I.	II.	III.	IV.	V.
$pb^{\frac{1}{4}}$	63°58′	63°57′	63°54′	63°53′	63°56′

La base p(001) porte des pyramides quadrangulaires. L'existence de ces dernières dans la topaze de Deseret n'est pas fréquente comme sur les faces m ou g^3 du prisme. Elles sont formées par quatre facettes en zone avec $pb^{\frac{1}{2}}$, souvent ces dernières sont arrondies et l'on trouve tous les passages, entre les pyramides régulières à faces planes, et les figures en relief paraissant être des segments d'ellipsoïde dont la symétrie correspond cependant à celle de la base (*fig.* 38, 1, 2, 3).

La collection de Minéralogie du Muséum possède un bel

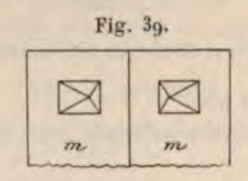
Fig. 38.



échantillon de topaze bleue de l'Oural dont la base est couverte de ces figures elliptiques.

Les faces e^1 et a^1 sont souvent en creux. La cavité est parfois assez régulière; mais ses parois étant arrondies aucune

Fig. 39.



mesure n'est possible. Dans un cas favorable j'ai observé sur e^1 qui était couvert de trois faces vicinales en relief :

1 : 2	0°18′
2 : 3	0°21′

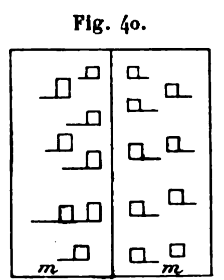
1, 2, 3 désignant les faces en partant du sommet.

Les faces $b^{\frac{1}{2}}$ sont aussi souvent creuses et la symétrie de la

cavité ne correspond pas toujours à celle du cristal; elle est sans forme régulière.

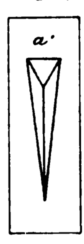
Les figures de corrosion de la topaze de Durango ont été étudiées surtout par M. Pelikan. La topaze de Deseret montre des

Fig. 40.



figures identiques dont la forme est inverse de celle des petites figures en relief (*fig.* 39). Parfois elles paraissent prouver l'hémimorphie de la topaze (*fig.* 40), mais l'asymétrie

Fig. 41.



est due aux faces vicinales. La figure 41 montre une figure de corrosion sur a^1.

Système monoclinique.

Sur les faces *p* de l'orthose adulaire du Saint-Gothard se trouvent des petites pyramides, dont les faces sont arrondies, mais qui montrent cependant qu'elles sont identiques à celles

qui ont été décrites sur les cristaux des substances étudiées jusqu'ici.

Les faces *m* (110) montrent aussi des figures en relief dont le contour est un parallélogramme. Les faces de la pyramide sont couvertes de stries sur les échantillons que j'ai eus en main et aucune mesure n'a été possible.

La sphène montre sur h^1 des figures quadrangulaires avec des stries nombreuses parallèles. Certaines parties donnent cependant de bonnes images.

1 : 2. varie de 1 à 4°

La face *m* a aussi de petites figures en relief à angles un peu arrondis, mais dont la symétrie est d'accord avec celle de cette face.

Sur les faces *m* du diopside se trouvent quelquefois une ou plusieurs pyramides vicinales quadrangulaires à faces bien planes. La mesure des angles a donné :

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
1:3......	0°40′	0°38′	0°41′	0°39′	0°50′	0°48′
4:2......	0°33′	0°31′	0°35′	0°34′	0°32′	0°37′

1 et 3 désignent les 2 faces supérieure et inférieure dans la zone *pm*, et 2, 4, celles qui sont dans la zone *mm*.

La valeur des angles est en rapport avec la symétrie de la face sur laquelle se trouvent les pyramides vicinales. Les angles ne sont pas rigoureusement égaux, mais ils sont toujours dans le même ordre de grandeur.

Le sulfate de nickel ammoniacal présente quelques faits intéressants. Sur les faces *m* (110) se trouvent souvent des figures quadrangulaires, en relief, à faces striées. D'autres faces, *p*, e^1, présentent, au contraire, des creux irréguliers. Nous voyons donc encore ici les deux sortes de faces : les unes attirant les courants de diffusion et les autres n'ayant pas d'action

sur ces derniers. L'accroissement se fait alors pour les arêtes seulement.

Système triclinique.

Les faces des cristaux tricliniques présentent fréquemment des faces vicinales appartenant à une et quelquefois à deux zones.

Les faces de l'axinite montrent des figures en relief très fréquentes. La face *m* présente des figures à deux facettes, 1, 2, plus ou moins striées, se coupant parallèlement à l'arête *mt* et ces dernières sont coupées du côté de l'arête *mp* par un biseau, 3.

On a :

	I.	II.	III.	IV.
3 : 2........	1°35′	1°40′	1°37′	1°
1 : 2........	0°59′	0°57′	1°	0°40′

L'axinite possède, en outre, sur les autres faces des figures qu'on ne peut mesurer, mais qui montrent bien par leur forme qu'à la fin de la cristallisation, la substance était en trop petite quantité pour recouvrir toutes les faces. Il y a parfois des creux sur les faces h^1, la matière ne s'étant déposée que sur les arêtes mh^1 et th^1.

On trouve sur de bonnes faces h^1

	I.	II.	III.	IV.
$h^1_1 : h^1_2$......	1°20′	1°10′	1°15′	1°19′

RELATION DES PYRAMIDES VICINALES AVEC LES ANOMALIES OPTIQUES.

Mallard (1) a montré que, dans le grenat topazolite, les pyramides biréfringentes avaient pour base une facette vicinale et leur sommet au centre du cristal. M. R. Brauns (2) a aussi observé, sur l'alun, que les anomalies optiques étaient en relation avec les faces vicinales. Max Schuster a, au contraire,

(1) MALLARD, *Ann. des Mines*, 1876, t. X.
(2) R. BRAUNS, *Opt. Anom.*, 1891, p. 232.

observé que les faces vicinales n'influencent pas les propriétés optiques des cristaux de danburite. M. Wallerant [1] a décrit la structure optique des pyramides de la fluorine de Weardale. Il a trouvé qu'elles avaient les mêmes caractères que les zones des pyramides internes : tantôt elles sont isotropes, tantôt biaxes et orientées de même. La seule différence entre la pyramide interne et la pyramide externe consiste en ce que la seconde est formée d'un nombre de couches beaucoup moins élevé ; ce qui est tout naturel puisqu'elle correspond à une période de diminution dans l'activité cristallisante du milieu.

M. Franco [2] n'a pas trouvé de relation entre les pyramides vicinales de l'idocrase et la biaxité anomale de cette substance.

Les faces vicinales paraissent, par conséquent, être dues, les unes, comme celles des grenats, à ce que le cristal est formé par des cristaux de symétrie inférieure à celle de l'ensemble, les autres à des courants de concentration. Il reste à délimiter à quelle catégorie appartiennent celles des différentes substances.

Des observations que j'ai faites sur les nitrates de baryte et de plomb, il résulte que, dans presque tous les cas, les faces vicinales agissent sur les propriétés optiques de ces substances. Le cristal portant ces faces est formé de pyramides biréfringentes ayant pour base une face vicinale et leur sommet au centre. Si les faces vicinales disparaissent, les propriétés optiques des parties nouvelles qui se déposent sont en relation avec le nouveau contour du cristal, c'est-à-dire qu'aux trois pyramides correspondant à la face de l'octaèdre fait suite une couche ayant partout la même orientation

---

(1) F. Wallerant, *ce Bulletin*, t. XXI, 1898, p. 71.
(2) Franco, *Zeitsch. f. Kryst.*, t. XX, 1892, p. 616.

optique. S'il en est ainsi pour tous les corps cubiques possédant des anomalies optiques, l'examen des propriétés optiques permettrait de voir quel était le contour du cristal pendant la formation.

J'ai dit plus haut que les pyramides vicinales modifiaient la division du cristal en secteurs biréfringents, mais elles ne sont pas liées à l'existence même des anomalies optiques. Elles existent en effet dans des cristaux de nitrate de plomb et de nitrate de baryte monoréfringents.

Becke a constaté que les anomalies optiques sont liées à la présence des faces vicinales et, d'après cet auteur, ce sont les matières étrangères provoquant les anomalies optiques qui doivent amener l'apparition des faces vicinales.

CONCLUSIONS.

Nous venons de voir que les figures polyédriques se rencontrent sur beaucoup de substances appartenant à tous les systèmes cristallins et, comme l'existence des faces vicinales est liée seulement à des conditions de cristallisation, elles doivent exister chez toutes, comme l'a déjà dit A. Scacchi. Il est à remarquer que, si les pyramides vicinales peuvent se trouver sur plusieurs formes, comme dans la topaze, en général elles existent sur certaines faces seulement. Ainsi, dans les grenats, elles se trouvent surtout sur les faces du dodécaèdre rhomboïdal. En général les figures en relief sont placées sur les faces à symboles simples, comme l'indique le Tableau suivant :

	Faces.
Galène, fluorine, analcime.........	cube
Nitrate de baryte, nitrate de plomb.	octaèdre
Grenat............................	dodécaèdre et a^2
Wulfénite.........................	base p
Idocrase, anatase.................	p et m
Cassitérite.......................	m

	Faces.
Quartz	$pe^{\frac{1}{2}}e^{2}s$
Apatite	p et m
Topaze	$mpg^{3}b^{\frac{1}{4}}$
Sphène, pyroxène	$h^{1}m$

Les faces simples, qui se produisent quand la cristallisation est rapide, à l'exclusion des facettes secondaires, semblent donc devenir, à la fin de la formation du cristal, c'est-à-dire au moment où l'apport de matière est très faible, des centres d'attraction plus actifs que les autres faces. Mais comme les faces ou pyramides vicinales sont, en somme, assez rares sur les cristaux, il est probable que ce n'est pas à l'épuisement de matière seul qu'il faut attribuer leur origine, puisque ce dernier se produit toujours. Il me paraît probable que les pyramides vicinales prennent naissance dans le cas où il y a un dépôt rapide de la substance en dissolution par suite d'une cause quelconque, les courants de concentration, ainsi produits, étant cependant trop faibles pour couvrir les faces ayant atteint certaines dimensions. Cela expliquerait pourquoi il n'y a pas de pyramides vicinales sur les petites faces, la matière qui arrive sur ces dernières pouvant se répartir sur toute la face.

Les faces vicinales du nitrate de baryte, de la topaze, de la wulfénite, du sulfate de nickel ammoniacal, toutes celles qui sont formées par une série de facettes en escalier, montrent bien qu'elles sont dues à ce que sur la face du cristal portant les pyramides vicinales des couches successives sont déposées en diminuant graduellement d'étendue. C'est l'explication qui a été donnée par M. Beckenkamp, qui considère ces couches comme formées d'une ou de plusieurs épaisseurs de molécules, mais qui ne fait pas intervenir les courants, dont M. G. Wulff et moi avons montré l'importance dans la formation des cristaux. L'influence de ces derniers explique pour-

quoi les angles n'ont pas des valeurs constantes et, en outre, pourquoi, sur les faces du cube et de la base des cristaux quadratiques, la valeur des deux angles du sommet de la pyramide est en relation avec le contour. Si dans la plupart des cristaux ces angles sont variables d'un échantillon à l'autre, dans quelques cas, les faces peuvent paraître des faces ordinaires comme celles du diamant, qui sont, à l'exception de l'octaèdre a^1, des faces vicinales. Il est vrai que ces dernières sont souvent arrondies. Les faces octaédriques des cristaux de fluorine, composés de petits cubes, sont aussi des faces vicinales. Elles ne peuvent pas être mesurées avec précision, cependant la mesure des angles, faite avec le goniomètre d'application, montre des différences suffisantes pour indiquer l'irrégularité. Les cubo-octaèdres de nitrate de plomb formés de petits cristaux, ayant les formes pa^1b^1 et les cristaux octaédriques d'alun, composés d'autres cristaux beaucoup plus petits, montrent aussi de petites différences dans la valeur des angles.

Dans quelques échantillons, les faces vicinales sont tout à fait planes et ne montrent pas de structure en escalier comme celles qui viennent d'être considérées. On peut faire deux hypothèses : 1° admettre que les couches sont infiniment minces et qu'elles diminuent régulièrement d'étendue, comme dans la théorie des décroissements d'Haüy ; 2° supposer que les faces se produisent sous l'action d'une force résultant de celle due à la cristallisation et de celle qui a son origine dans les courants de concentration. Telle est l'hypothèse de M. G. Wulff. Comme ces sortes de faces ne sont pas toujours planes, qu'elles présentent des stries et des accidents montrant qu'elles se sont formées comme celles qui sont évidemment en escalier, il me semble que l'origine de toutes est la même, c'est-à-dire qu'elles sont dues à ce que le cristal s'est formé par une série de couches qui n'ont pas couvert toute la face

portant les pyramides vicinales. Elles dépendent naturellement de l'intensité des courants, de la nature et de l'étendue de la face, et il est à remarquer que, en général, plus elles sont petites, plus elles sont en relief. Mais les actions capillaires agissant entre les faces du cristal et le liquide doivent aussi intervenir dans la formation des faces vicinales et il doit se passer ce qui arrive dans la production des cristaux ordinaires, c'est-à-dire qu'elles sont sans action sur les dépôts formés rapidement, mais qu'elles agissent quand les couches se déposèrent plus lentement pour donner des faces rigoureusement planes. Dans le premier cas, il se produit les figures irrégulières, étudiées page 15, et les pyramides vicinales à faces striées, telles que celles de la fluorine, de la wulfénite, etc. Dans le second, ce sont des figures à faces planes comme celles de l'apatite de Jumilla, du quartz de Herkimer, etc. C'est probablement aussi à ces actions capillaires qu'il faut attribuer la régularité des angles de certaines faces vicinales, constatée par plusieurs auteurs et mentionnée dans la partie historique de cet article.

Les pyramides vicinales montrent la symétrie de la substance au même titre que les figures de corrosion ; le fait est nettement indiqué avec le quartz.

Examen de plusieurs minéraux au point de vue de leur radioactivité;

Par M. F. Pisani.

A la suite des belles découvertes de M. Becquerel et de M. et Mme Curie, sur la radioactivité de certains corps contenus dans la pechblende, j'ai entrepris, il y a environ 3 ans, une étude sur plusieurs minéraux, afin de voir si, en effet, cette propriété n'existait que pour ceux contenant de l'urane ou du thorium, ou bien si d'autres, ne contenant aucun de ces

corps, ne pourraient produire des effets analogues. Mon but a été surtout de chercher, dans ces propriétés radioactives de certains minéraux, un procédé pratique de reconnaissance à ajouter aux autres moyens physiques, employés en Minéralogie, pour distinguer certaines espèces les unes des autres. En plus, étant donnée la radioactivité de corps comme l'uranium et le thorium, on aurait ainsi un moyen qualitatif de reconnaître d'avance, avant le contrôle chimique, la présence ou l'absence de ces corps.

Le procédé que j'ai employé est la méthode photographique, qui consiste à impressionner une plaque sensible sur laquelle on place un petit disque de métal, plomb ou autre, percé d'une ouverture triangulaire au centre. L'exposition variait de 1 heure à 24 heures suivant les cas. Quand, après le développement, l'image est faible, on l'examine préférablement en plaçant la petite plaque à 45° environ devant une feuille de papier blanc, éclairée par un bec de gaz, ou bien en regardant dans le ciel quand il est couvert.

Voici quels sont les divers minéraux que j'ai examinés :

Silicates.

Gadolinite (Ytterby)	0	24 heures
» (Fahlun) (Th, 1 p. 100).	faib. marqué	24 »
Cérérite	0	12 »
Tritomite (Th, 9 pour 100)..........	faib. marqué	2 »
Steenstrupine (Th, 7 pour 100).....	»	2 »
Auerlite (4 petits crist.) (Th, 70 p. 100).	assez marqué	24 »
Thorite (petit cristal)..............	bien marqué	20 »
Thorite brune......................	faib. marqué	1 h. 30 m.
Orangite (Ur)......................	bien marqué	24 heures
» (1^{cm^3})...................	»	2 »
» »	assez marqué	30 minutes
Allanite (Amherst Co) (Th, 1 p. 100).	assez marqué	24 heures
Orthite brune (crist.) (Th, 1 pour 100).	faib. marqué	24 »
» noire......................	0	24 »
Uralorthite........................	0	24 »

Silicates.

Pyrorthite	0	24 heures
Epidote	0	24 »
Homilite (Th?)	assez marqué	24 »
Topaze (Brésil)	0	24 »
Rubellite	0	24 »
Émeraude verte	0	20 »
Beryl jaune	0	24 »
Leucophane	0	24 »
Melinophane	faib. marqué	24 »
Chondrodite	0	24 »
Agricolite (Bi)	faib. marqué	24 »
Catapleite	assez marqué	24 »
Eudyalite	0	24 »
Sphène (Grisons)	0	24 »
Tschefkinite (Ét.-Unis) (Th, 2 p. 100).	bien marqué	24 »
Mosandrite (Th, 0,3 pour 100)	faib. marqué	24 »

Carbonates.

Barytocalcite	0	12 heures
Alstonite	0	12 »
Bismuthite	0	12 »

Tantalates. — Niobates.

Yttrotantale noir (Ur, 1,5 pour 100).	bien marqué	24 heures
Hjelmite (Ur, 4,8 pour 100)	assez marqué	24 »
Fergusonite (Ytterby) (Ur, 1 à 3 p. 100).	faib. marqué	24 »
Tyrite (Ur, 5 pour 100)	faib. marqué	24 »
Niobite (Bavière)	0	24 »
» (Chanteloube)	0	24 »
Annerodite (Moss) (Ur, 16 pour 100) (Th, 2 pour 100)	faib. marqué	24 heures
Euxénite (3 loc.) (Ur, 4 à 12 p. 100).	bien marqué	12 h. à 24 h.
Aeschynite (petits crist.) (Th, 15 p. 100)	assez marqué	30 minutes
» »	bien marqué	1 h. 30 m.
» »	très marqué	24 heures
Wuckite noire (Ur, 10 pour 100) ...	bien marqué	48 heures
» jaune	bien marqué	48 »
Samarskite (Ur, 4 à 12 pour 100)...	bien marqué	12 »

Tungstates. — Molybdates. — Vanadates.

Wolfram	0	1 h. 30 m.
Mélinose	0	»
Cupro-Descloizite	0	»

Tellurures.

Tétradymite	0	24 heures

Arséniates.

Trögerite (Ur)	bien marqué	12 heures
Zeunérite (Ur)	»	12 »
Mixite (Bi)	»	12 »

Phosphates.

Apatite (Canada)	0	24 heures
Phosphorite (Espagne)	faib. marqué	24 »
Xénotime (Th, 3 pour 100)	assez marqué	24 »
Monazite (Moss) (Th, 4,5 pour 100).	bien marqué	24 »
Turnérite (Grisons) sur gangue	assez marqué	24 »
» (3 petits crist.)	»	45 minutes
» »	faib. marqué	10 »
Korarfveite (Th, 8 pour 100)	bien marqué	24 heures
Uranite (Autun)	»	24 »
Uranocircite (Ur, Ba)	»	12 »
Sable de monazite (Brésil) (Th. 8 p. 100)	bien marqué	24 »

Sulfures. — Sulfates.

Bismuthine (3 échantillons)	0	15 heures
Blende jaune (Santander)	0	24 »
Wurtzite (28)	faib. marqué	24 »
Barytine (3 échantillons)	0	12 h. à 12 h.

Fluorures.

Fluorine verte (États-Unis).........	faib. marqué	1 heure
»	bien marqué	24 heures
» rose (Saint-Gothard)......	assez marqué	1 heure
» violette (Cumberland).....	bien marqué	1 »
» incolore..................	0	48 »
Chlorophane......................	faib. marqué	48 »

Oxydes.

Alexandrite........................	0	24 heures
Péchurane..........................	bien marqué	6 h. à 12 h.
» pur.....................	assez marqué	1 heure
Clévéite sur gangue................	bien marqué	12 heures
Psilomélane (Thuringe)............	0	16 »
» (Romanèche)..........	0	16 »
Lithiophorite.......................	0	12 »

En présence de ces divers résultats on constate que, à part les fluorines colorées dont l'action n'est due qu'à leur propriété de fluorescence, ou bien à la présence de matières organiques, presque tous les autres minéraux radioactifs contiennent soit de l'uranium ([1]), soit du thorium, ou bien les deux.

Dans la turnérite, analysée par moi il y a bien longtemps, sur une quantité *très petite,* et que j'avais reconnue être une monazite, il est probable qu'il y a aussi du thorium comme dans les autres monazites; à cette époque, je n'avais point de procédé pour déceler de petites quantités de ce corps.

Un point, cependant, reste douteux : c'est à savoir si de faibles quantités de thorium ou d'urane, 1 à 3 pour 100 comme

---

([1]) Toutes les fois que j'indique comme entrant dans la composition du minéral Th ou Ur, il s'agit des oxydes de ces métaux.

l'indiquent les analyses pour quelques-uns des minéraux que j'ai examinés, suffisent pour leur donner une action si marquée, ou bien s'il faut supposer qu'ils contiennent un des nouveaux corps radioactifs découverts par M. et Mme Curie.

Essai de mesure de l'activité photographique de certains minéraux;

Par M. G. Bardet.

La notoriété donnée récemment aux recherches de MM. Becquerel et Curie ayant beaucoup excité l'attention sur le parti qu'on pourrait tirer de leurs découvertes, on s'est préoccupé de déterminer le pouvoir radioactif des minéraux, et comme le dit fort bien M. Pisani, dans le travail qu'il vient de fournir et qui nous donne des renseignements aussi nombreux qu'intéressants, la radioactivité peut aujourd'hui contribuer à fournir des caractères nouveaux dans la détermination de certaines espèces.

Connaissant les essais de notre distingué collègue, qui a bien voulu me tenir au courant de ses expériences, j'ai essayé de fixer par un chiffre l'activité photographique de ces corps. Je m'empresse de dire que le procédé Curie, par l'action électrique, est infiniment plus rapide et plus sûr, mais il exige une installation compliquée. L'action sur une plaque photographique, au contraire, peut s'obtenir sans matériel, et, d'autre part, il ne faut pas oublier que l'action actinique n'est pas forcément fonction de l'action électrique; or, comme j'ai entrepris les essais suivants dans le but de me préparer à des essais physiologiques des matières radioactives, comme l'action physiologique est fonction de l'action actinique sur les plaques, je me trouvais naturellement porté

à me servir de la photographie de préférence à l'action électrique. Enfin, le procédé photographique a l'avantage assez sérieux de laisser un témoin de l'action du minéral essayé. Mais, pour arriver à un résultat pratique dans la recherche des matières premières, il est nécessaire de pouvoir mesurer l'action.

Pour l'instant, et en attendant des perfectionnements nécessaires, j'ai imaginé une méthode photométrique qui a tout au moins l'avantage d'être simple et assez exacte dans la pratique.

Je fais poser sur des plaques Lumière violettes, c'est-à-dire extra-sensibles pour gagner du temps, enveloppées de deux feuilles de papier noir, un diaphragme de cuivre percé d'un trou de 1^{cm} de large sur lequel on place les minéraux à essayer. La pose est la même pour tous, le développement est le même, soit 10 minutes (temps supérieur au maximum d'action), dans un révélateur énergique (métaquinone et formosulfite). J'obtiens ainsi des images aussi comparables que possible, sous la forme d'un disque plus ou moins foncé se détachant bien sur la plaque blanche.

Cette image est placée sur une vitre dépolie, puis, après m'être entouré de toile noire, je place sur le dépôt d'argent un photomètre formé d'épaisseurs croissantes de papier transparent, c'est-à-dire analogue au photomètre banal de Decoudun bien connu des photographes. Naturellement, moins mon image est dense et plus je suis obligé de placer d'épaisseurs, en faisant tourner mon photomètre jusqu'à ce que les trois trous du viseur disparaissent. Quelque primitive qu'elle soit, cette méthode m'a permis de me faire une opinion sur l'activité de certains minéraux.

Voici les chiffres obtenus par une pose de 48 heures. Je donne au minéral le plus actif, c'est-à-dire la péchurane ou pechblende, le coefficient 100. En regard du coefficient, j'ai

placé la teneur moyenne en principes uraniques et thoriques, d'après les analyses connues, mais sans oublier que ces analyses types ne préjugent en rien la composition réelle du minéral essayé :

	Pouvoir radiographique.	Composé uranique pour 100.	Composé thorique pour 100.	Composés mét. rares.
Pechblende..........	100	80	»	»
Uranophane.........	75	60	»	»
Uranite..............	75	60	»	»
Uranolite............	60	65	»	»
Uranocircite.........	30	55	»	»
Æschinite (?)........	30	»	15	24
Euxénite............	25	5 à 12	6	»
Samarskite..........	25	10	»	18
Johannite (douteux)..	20	67	»	»
Xénotime............	20	1 à 3	»	58
Nitrate de thorium...	15	»	100	»
Thorite..............	10	2 à 8	60	»
Xénotime............	10	1 à 3	»	58
Yttrotantale.........	5	2	»	»
Cérite...............	5	»	»	60
Xénotime............	5	1 à 3	»	58
Polycrase...........	2	7	»	40
Orthite..............	1	»	1	20
Fergussonite (douteux).............	0	2	»	32
Pyrochlore (douteux).	0	tr.	5 à 8	7
Orthite..............	0	»	1	20
Æschynite..........	0	»	15	24

La première remarque qui s'impose à l'examen du précédent Tableau, c'est que les types différents des minéraux essayés présentent des actions fort variables et ensuite qu'à part des exceptions rares les minéraux actifs contiennent tous de l'urane. La seule exception importante est l'échantillon d'æschynite qui donne le coefficient élevé 30, mais c'est un

corps à analyser et il n'est pas impossible que ce soit en réalité de l'euxénite. Au contraire un échantillon du même minéral, bien déterminé et ne contenant que du thorium, s'est montré inactif. J'avoue que je serais assez tenté d'attribuer à l'existence de traces de principe uranique l'activité des sels de thorium.

En terminant, je ferai deux ou trois observations que m'ont suggérées mes expériences. La masse de matière n'a aucune valeur, car l'émission semble se faire en surface : prenez un morceau de pechblende de 600^g, il agira moins fortement que 2^g de pechblende en poudre. Je recommanderais donc de réduire en poudre le minéral à essayer, quand il s'agit de matière massive.

D'autre part, il est important, dans ces essais, de faire des poses courtes quand les minéraux sont très actifs. Le Tableau précédent a été obtenu avec une pose de 48 heures, mais désormais je suis décidé à poser moins quand la chose est possible, car une image faible se mesure mieux qu'une image trop dense; de plus, avec les composés uraniques riches, l'activité peut être dépassée par une pose trop longue et alors les mesures sont fausses. Par exemple pour la pechblende il suffit de 2 heures pour avoir une impression dense et bien mesurable. Il suffira ensuite de tenir compte du temps dans l'établissement du coefficient.

J'insiste sur le peu de précision des premiers essais que j'ai faits; j'espère avoir l'occasion de revenir sur cette question et d'apporter alors des faits un peu mieux établis.

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE.

ANNÉE 1904. — BULLETIN N° 2.

Compte rendu de la séance du 11 février 1904.

PRÉSIDENCE DE M. DUFET.

M. DE GRAMONT remercie la Société de l'honneur qu'elle lui a fait en l'appelant à la vice-présidence.

M. MARCEL BRONGNIART fait une Communication sur une barytine de Patagonie.

M. TERMIER présente des échantillons de bournonite et de pyromorphite provenant des mines d'Ally (Haute-Loire).

M. le PRÉSIDENT rappelle que dans sa séance du 10 décembre 1903 la Société de Minéralogie avait nommé une Commission, chargée de lui présenter un rapport sur le Certificat de Minéralogie. M. le Président lit ce rapport qui est adopté à l'unanimité.

Dans sa séance du 10 décembre 1903, la Société française de Minéralogie a décidé de présenter son avis motivé sur l'obligation du Certificat de Minéralogie dans la Licence ès sciences physiques et a nommé une Commission composée de MM. Dufet, Lacroix, Wallerant, Wyrouboff, chargée de lui présenter un Rapport résumant les opinions qui avaient été émises. Elle adresse ce Rapport, dont elle a approuvé les termes, aux pouvoirs compétents.

« Au moment où l'on discute la réforme de l'agrégation qui entraîne nécessairement la réforme des programmes de licence, la Société française de Minéralogie croit de son devoir de venir défendre les intérêts de la Science au nom de laquelle elle s'est constituée.

» Elle appelle d'abord l'attention sur ce fait indéniable que les études minéralogiques, qui sont nées en France et qui y ont acquis leur caractère scientifique, déclinent rapidement depuis quelques années, soit qu'on se place au point de vue de la description des espèces, soit qu'on envisage les formes cristallines ou les propriétés des milieux cristallins. Il n'est pas difficile de montrer cependant que sous ce double aspect la Minéralogie a une importance capitale pour tous ceux qui se livrent à l'étude des sciences naturelles ou physiques. En tant que science descriptive elle fait corps avec la Pétrographie qui a pris une si grande place dans l'étude de la croûte terrestre : elle en est le point de départ et le guide le plus sûr. En tant que science rationnelle recherchant les lois géométriques et physiques qui régissent les milieux doués de symétrie, elle vient se placer à côté de la Physique classique qui, sauf de rares exceptions, n'examine que les corps isotropes.

» Si l'on voulait être conséquent et se mettre au niveau de nos connaissances actuelles, il faudrait partager la Minéra-

logie, telle qu'elle est enseignée encore en vertu d'idées qui n'ont plus aucune raison d'être, en deux fractions distinctes, l'une se rangeant à côté des sciences naturelles, l'autre se confondant avec les sciences physiques. Nous ne nous dissimulons pas cependant la difficulté d'une semblable réforme, allant à l'encontre de toutes les habitudes prises et de toutes les traditions acceptées. Nous n'en parlons que comme d'un objectif éloigné auquel il faudra tendre et qui sera certainement réalisé un jour.

» Nous ne voulons parler aujourd'hui que d'une question dont la solution est facile, puisqu'elle se réduit à revenir à un ordre de choses qui a existé pendant longtemps et a donné d'excellents résultats. La plus grosse part de la Minéralogie revient aux sciences physico-chimiques, c'est par ce côté qu'elle peut être considérée après les travaux de Haüy, de Delafosse, de Bravais, de Mallard, de Sohnke, de Shonflies, comme science aussi rationnelle que n'importe quelle autre branche du savoir humain.

» Envisagée sous ce rapport, elle est un complément indispensable de la Physique, puisqu'il s'agit des mêmes propriétés que celles qu'étudient les physiciens, avec une condition particulière en plus : celle de la symétrie. Tant qu'on a cru que cette symétrie ne s'appliquait qu'aux facettes cristallines, la cristallographie pouvait être considérée comme l'étude d'un phénomène très spécial, mais nous savons aujourd'hui qu'elle existe tout aussi bien dans des corps n'ayant aucune forme géométrique extérieure, qu'elle ne se manifeste parfois que par des propriétés physiques de lumière, de chaleur, d'électricité, qui exigent les plus délicates observations. Nous n'avons donc plus aucun droit de la considérer comme inutile ou accessoire et il ne serait pas difficile de montrer, par des exemples, avec quelle facilité les modernes théories de la cristallographie, entendue dans le

sens le plus large du mot, permettent de résoudre des problèmes devant lesquels les physiciens se déclarent impuissants.

» Mais il est un autre côté de la question qu'il importe de rappeler. La cristallographie la plus élémentaire permet de déterminer les formes cristallines, elle donne le moyen de trouver une des constantes les plus caractéristiques des corps. Elle est donc éminemment utile aux chimistes pour l'identification des innombrables composés qu'ils préparent tous les jours. Cela est si vrai que tous les anciens chimistes connaissaient la pratique cristallographique dont les chimistes de la nouvelle génération ont perdu jusqu'au souvenir, car ils se contentent de mettre à contribution les quelques rares cristallographes qui existent encore en France.

» Nous devons faire remarquer enfin que la Minéralogie, aussi bien par son côté descriptif que par sa partie théorique, devient de plus en plus indispensable aux industriels et spécialement aux métallurgistes qui ont besoin d'une connaissance exacte des minerais qu'ils emploient, des formes cristallines que les métaux ou leurs alliages peuvent revêtir et des transformations que ces formes subissent aux diverses températures.

» Ce déplorable état de choses tient en grande partie à ce que les programmes universitaires ont fait de la Minéralogie une sorte de hors-d'œuvre qui n'est obligatoire pour personne.

» La réforme de la licence physique, qui rendait le troisième certificat facultatif, a été une rétrogradation manifeste nuisible à la fois à la Physique qu'elle privait d'un complément indispensable, à la Chimie à laquelle elle enlevait un précieux instrument d'investigation, à la Minéralogie qu'elle supprimait sinon en théorie du moins en pratique.

» Ces quelques considérations suffisent pour légitimer le vœu qu'exprime la Société française de Minéralogie, celui de

voir le certificat de minéralogie redevenir obligatoire pour la licence physique et par conséquent aussi pour l'agrégation de physique.

» Ce n'est qu'ainsi que pourra se créer petit à petit une école qui reprendra les traditions à peu près perdues de la Minéralogie française et luttera avantageusement avec les nombreuses et florissantes écoles qui existent dans plusieurs pays étrangers.

» En formulant ce desideratum, la Société française de Minéralogie ne croit nuire à aucun intérêt scientifique bien entendu; elle pense au contraire contribuer au progrès de l'enseignement des sciences physico-chimiques. »

A. Lacroix,
Ancien Président
de la Société minéralogique,
Membre de l'Institut,
Professeur au Muséum.

H. Dufet,
Président de la Société minéralogique,
Maître de Conférences
à l'École Normale supérieure.

G. Wyrouboff,
Ancien Président
de la Société minéralogique,
Professeur au Collège de France.

F. Wallerant,
Ancien Président
de la Société minéralogique,
Professeur à la Faculté
des Sciences de Paris.

Note sur une barytine de Patagonie;

Par M. Marcel Brongniart.

Au cours d'une mission récente en Patagonie, M. Tournouer a rencontré de curieuses agglomérations de cristaux de barytine au milieu de l'argile des couches à Notostylops de Coli-Huapi [1] : cette formation est sans doute d'âge oligocène.

Les échantillons que j'ai étudiés sont globulaires, tantôt assez réguliers, ou bien irréguliers et entourant alors parfois des dents de mammifères; leurs dimensions varient de 1^{cm} à 15^{cm}. Ils sont formés par la réunion de cristaux aplatis suivant la base *p*, lenticulaires et ne présentant pas de faces distinctes. Ces cristaux ont une tendance à se disposer parallèlement les uns aux autres, un peu à la manière de la barytine crêtée, mais ils s'enchevêtrent parfois d'une manière quelconque, donnant alors aux agglomérations un aspect très semblable à celles que forme le gypse des sables du Sud-Algérien.

D'autres échantillons sont constitués par des cristaux plus petits, enchevêtrés aussi, mais ayant des formes plus nettes. Ces cristaux sont aplatis suivant la base *p*, également développés dans le sens des axes *a* et *b* et présentant des faces peu développées des zones ph^1 et pg^1. Le cristal s'est formé en deux temps; une zone centrale est limpide et terminée par les faces *p* et *m*; elle est bordée par une zone extérieure opaque et d'un blanc laiteux. Sur des cristaux très petits provenant de cavités intérieures de ces agrégats cristallins, j'ai pu reconnaître, en outre de la face $p(001)$, la forme $a^4(104)$ formant un biseau géné-

---

[1] A. Tournouer, *Note sur la Géologie et la Paléontologie de la Patagonie* (*Bulletin de la Société géologique de France*, 4ᵉ série, t. III, p. 463).

ralement brillant, ainsi que $e^1(011)$ peu développée mais nette; il existe, dans la même zone pg^1, une autre forme plus importante mais terne et corrodée, moins inclinée sur p; enfin, j'ai observé, dans la zone $p\,m$, de très petites facettes non mesurables.

Tandis que la célestine se rencontre fréquemment au milieu de terrains sédimentaires, la barytine, au contraire, y est relativement rare. C'est pourquoi j'ai cru bon de signaler ce gisement surtout en raison de son âge récent qui est sensiblement le même que celui de la célestine des marnes vertes oligocènes des environs de Paris.

Minéraux nouveaux.

Bakerite. — Ce minéral se trouve en veines et en nodules de dimensions considérables dans la mine de Borax Consolidated Company Limited, située dans Mohaver Desert, à 60 miles nord-est de Daggett (San Bernardino C°, Californie). Il se présente en masses blanches, amorphes, ressemblant à de la porcelaine ou plutôt à la pandermite de Sultan Tchair (Asie Mineure); cependant sur certains points la couleur est verdâtre.

La densité est de 2,73 et la dureté 4,5.

L'analyse a donné les résultats suivants :

	Min. blanc.	Min. verdâtre.
B^2O^3	27,74	26,85
CaO...........	34,88	35,22
SiO^2	28,45	28,05
H^2O...........	8,30	8,66
Al^2O^3, Fe^2O^3 ..	0,63	1,22
Total...	100	100

La formule $8CaO, 5B^2O^3, 6SiO^2, 6H^2O$ représente cette composition. Ce minéral, qui se rapproche du groupe de la datholite, a été dédié à M. Baker, un des directeurs de la mine où il a été rencontré. (W.-B. Giles, *Min. Mag.*, vol. XIII, 1903, p. 353.)

Boothite. — Ce minéral, dédié à M. E. Booth, de l'Université de Californie, est un sulfate de cuivre répondant à la formule

$CuSO^4,7H^2O$. Il est monoclinique et est isomorphe avec la mélantérie. Il a été rencontré avec d'autres sulfates produits, comme lui, par l'altération de la chalcopyrite, à Alma Mine, Leona Heights, Alameda C°, Californie (W.-T. SCHALLER, *Bul. Dep. Geol. Univ. California*, vol. III, 1903, p. 207).

Le Secrétaire, gérant :

MAURICE BLONDEL.

34644 Paris. — Imprimerie GAUTHIER-VILLARS, quai des Grands-Augustins 55.

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE.

ANNÉE 1904. — BULLETIN N° 3.

Compte rendu de la séance du 17 mars 1904.

PRÉSIDENCE DE M. DUFET.

M. LE PRÉSIDENT fait part de la mort de M. *Fouqué*, Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France et Membre honoraire de la Société française de Minéralogie. Le discours que M. le Président a prononcé aux funérailles de M. Fouqué, au nom de la Société, sera inséré dans le *Bulletin*.

M. TERMIER présente, au nom de M. *Richard*, une Note sur les propriétés cristallographiques de la bournonite d'Ally (Haute-Loire).

M. MICHEL fait une Communication sur les gisements aurifères de la Mayenne.

Discours prononcé par M. Dufet aux obsèques de M. Fouqué.

MESSIEURS,

Je n'ai pas à revenir devant vous sur l'exposé des titres scientifiques de celui dont la perte inattendue met aujourd'hui en deuil la Science minéralogique. Des voix plus autorisées que la mienne ont dit ce qu'étaient le savant et l'homme, et je risquerais, en reprenant le même sujet, d'affaiblir l'hommage rendu.

Je viens seulement, au nom de la Société française de Minéralogie, adresser un dernier adieu à l'un de ses fondateurs, à l'un de ceux qui l'ont le plus hautement honorée par leurs travaux. Quand, en 1878, se fonda notre Société, M. Fouqué, déjà professeur au Collège de France, lui apporta le concours de sa science et de son activité. De nombreux Mémoires insérés dans notre *Bulletin* en sont la preuve. Sans vouloir insister sur ce point, on me permettra de citer rapidement, comme se rapportant plus étroitement à la Minéralogie pure, les beaux travaux sur les reproductions d'espèces minérales, faits en collaboration avec M. Michel-Lévy, l'étude de l'anorthose de Terceira, et surtout le grand Mémoire sur les feldspaths des roches volcaniques, qui constitue une des contributions les plus importantes à la connaissance de ce groupe de minéraux.

La Société française de Minéralogie, que M. Fouqué avait présidée en 1883, lui décerna en 1897 le plus grand honneur dont elle dispose, en le choisissant comme membre honoraire en remplacement de Des Cloizeaux. Pendant plus de 25 ans, nous avons vu M. Fouqué assister à nos séances, y montrer, dans les discussions et les conversations entre confrères, son esprit de critique scientifique, l'intérêt qu'il portait à tout ce qui regardait la Minéralogie, et aussi ces sentiments de bienveillance et de bonté, dont beaucoup d'entre nous ont éprouvé, à leurs débuts dans la carrière scientifique, l'influence généreuse et réconfortante.

Aussi est-ce avec une sincère émotion que je me trouve aujourd'hui chargé, au nom des membres de la Société de Minéralogie, de venir exprimer devant ce cercueil les sentiments douloureux qu'ils ressentent. La Science perd sans doute, à cette brusque extinction d'un esprit dont l'âge n'avait pas ralenti l'ardeur, de beaux travaux dont M. Fouqué l'eût encore enrichie, mais de plus tous ceux qui le connaissaient

voient disparaître en lui un modèle d'activité et de probité scientifiques.

Qu'il me soit permis d'adresser aux membres de cette nombreuse famille dont il était le chef respecté, l'hommage attristé de nos sentiments, en y joignant la promesse de conserver pieusement, comme un bel exemple de travail et d'honneur, le souvenir de celui qui n'est plus.

Sur les mines de La Lucette (Mayenne);

Par M. L. Michel.

On exploite, depuis 1898, à La Lucette, commune du Genest, près Laval (Mayenne), un gîte d'antimoine qui présente quelques particularités intéressantes.

Ce gîte est constitué par plusieurs filons de quartz recoupant des schistes et des grès micacés qui appartiennent au silurien supérieur. La direction de ces filons varie entre 15° et 40° N.-E. et leur pendage est voisin de la verticale. Ils affectent l'allure en chapelet : la puissance est de $0^m,15$ à $0^m,20$ dans les serrées et de $0^m,80$ dans les plus grandes dimensions des amas droits.

Le remplissage de ce gîte se compose de stibine, de mispickel, de pyrite de fer, de blende, d'or libre, de quartz, de calcite, de fragments de schiste et de grès micacé. Les minerais dominants sont la stibine et le mispickel : la blende et l'or libre ne s'y montrent qu'en mouches. Le quartz constitue la gangue principale.

La stibine se présente en masses lamellaires, en aiguilles, et parfois en cristaux bien terminés qui rivalisent de grandeur avec ceux du Japon.

Le mispickel est en cristaux relativement petits mais très nets. Ces cristaux sont allongés suivant l'axe vertical et portent

les faces $m(110)$ très développées ainsi que les facettes $e^1(011)$ et $e^2(012)$ assez réduites. Ils sont brillants, d'un gris d'acier : quelques-uns sont recouverts d'une pellicule de pyrite de fer. Ils se distinguent nettement de la plupart des cristaux de mispickel, par leur allongement, leur couleur, l'absence complète de stries, et par leur forte teneur en or.

La pyrite est également aurifère.

Le gîte de La Lucette appartient, comme on le voit, à la formation aurifère quartzeuse antimonieuse.

Les exemples les plus typiques de cette formation nous sont fournis par les célèbres gîtes de Schönberg et de Mileschau (Bohême) et par le gîte non moins célèbre de Majurka (Hongrie). La plupart des filons, rencontrés jusqu'à ce jour dans ces gîtes, sont minéralisés par de la stibine, du mispickel, de la pyrite de fer, de la blende, de la galène, de la chalcopyrite et de l'or libre ; les gangues sont le quartz et la calcite ; leur structure est massive, mais les parties minéralisées offrent souvent une disposition symétrique, c'est-à-dire que le mispickel se trouve dans les zones des salbandes et la stibine dans le milieu des filons ; cette structure caractérise également les filons de La Lucette.

La teneur en or des filons de la Bohême et de la Hongrie, dont l'exploitation remonte au XIVe siècle, a varié entre 300g et 400g par tonne.

Il existe aussi des filons de quartz aurifère antimonieux dans quelques régions situées en dehors de l'Europe et notamment en Australie et dans la chaîne du Murchisson, au Transvaal.

On voit, par ce qui précède, que les filons de La Lucette présentent, au point de vue de leur structure et de leur minéralisation, les plus grandes analogies avec ceux de la Bohême et de la Hongrie.

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE.

ANNÉE 1904. — BULLETIN N° 4.

Compte rendu de la séance du 14 avril 1904.

PRÉSIDENCE DE M. WALLERANT.

M. ARSANDAUX présente une Note sur les gîtes aurifères du massif du Khakhadian (Soudan occidental).

M. GAUBERT fait une communication sur les produits de déshydratation de quelques phosphates.

M^{me} BOUBÉE présente quelques minéraux : de la vandiérite (Sierra Blanca, Colorado) nouveau tellurure d'argent; de la byxbyite (Dugway, Maine); des cristaux de herdérite (Auburn, Maine) et de la powellite.

Sur les gîtes aurifères du massif du Khakhadian (Soudan occidental);

Par M. H. ARSANDAUX.

Dans une Note récemment parue aux *Comptes rendus de l'Académie des Sciences* (1), j'ai étudié la constitution géologique du massif du Khakhadian.

Afin de faciliter la compréhension de ce travail, je rappellerai les faits géologiques suivants :

(1) *Comptes rendus*, 5 avril 1904.

« Le massif du Khakhadian est situé au centre du Bambouk, région limitée par le haut Sénégal à l'est, et par la Falémé à l'ouest. Le milieu de ce massif est constitué par des montagnes abruptes de 700m à 800m; des hauteurs de moindre altitude les entourent, affectant la forme de table si fréquente dans l'Afrique occidentale; certaines d'entre elles constituent de véritables plateaux.

» Le revêtement superficiel de toutes ces hauteurs consiste en un épais conglomérat rouge brun, très résistant, de roches quartzeuses cimentées par une argile ferrugineuse. Le même conglomérat s'observe sur les flancs et se prolonge en diminuant graduellement d'épaisseur jusqu'aux parties basses et planes du pays, où il fait place à un limon argileux.

» On voit émerger de ce limon de grandes masses de granite et des affleurements limités de roches éruptives ou sédimentaires plus ou moins feuilletées suivant une direction nord-est sud-ouest. La discontinuité de ces affleurements, toujours constitués par un type pétrographique unique, ne permet pas de démêler les relations stratigraphiques de ces différentes roches les unes avec les autres. Elles peuvent cependant être suivies jusqu'au point où elles disparaissent sous le conglomérat; parfois une érosion locale ou un puits indigène d'exploitation aurifère permettent de retrouver sous celui-ci la roche de la plaine avec tous ses caractères structurels, mais dans un complet état de décomposition latéritique [1]. »

Les roches que l'on trouve dans la région que j'envisage sont les suivantes : des quartzites non fossilifères, intacts ou métamorphisés, des porphyrites micacées à andésine, des porphyrites andésitiques à amphibole, des schistes amphibo-

---

[1] Conformément à la définition adoptée par plusieurs auteurs, j'appelle *latérite* la forme de décomposition des roches feldspathiques (éruptives ou feldspathisées) dans les régions chaudes et humides.

liques, des diabases, des tufs andésitiques, des microgranites et des granites.

« Les observations géologiques que j'ai faites sur ces diverses roches montrent qu'en résumé : cette région africaine est constituée par des roches sédimentaires d'âge indéterminé mais vraisemblablement ancien, renfermant des intercalations de tufs andésitiques d'origine volcanique ; elles sont traversées par des roches éruptives de nature variée, et en particulier par du granite qui les a métamorphisées. Toutes ces roches, à l'exception du granite, présentent l'empreinte de puissantes actions mécaniques, à la suite desquelles certaines d'entre elles, les plus basiques, ont été transformées en schistes amphiboliques [1]. »

Sur l'emplacement des anciennes mines d'or de Kéniéba, des roches, présentant des affleurements semblables à ceux qui viennent d'être décrits ci-dessus, ont été soumises à des actions dynamiques particulièrement puissantes, elles offrent une schistosité des plus accentuées.

Parmi celles-ci, il convient de considérer spécialement des schistes amphiboliques représentant le terme ultime de la transformation de porphyrites andésitiques à amphibole, et des microgranites.

Les schistes amphiboliques sont chargés de pyrite, à leur voisinage, *et là seulement*, les microgranites en contiennent également. Ces deux roches sont aurifères, l'or qu'elles renferment provient exclusivement de la pyrite.

Au premier stade de latéritisation, ces roches amphibo-

---

[1] Jusqu'à présent les seuls renseignements géologiques concernant cette région sont consignés dans les Notes suivantes : Stanislas Meunier, *Aperçu géologique sur le Bambouk* (*Bull. du Mus. d'Hist. nat.*, n° 2, 1902). — J. Alex. Bourdariat, *Essai de Carte géologique du Bambouk* (*Comptes rendus*, 24 février 1902).

liques et microgranitiques constituent des roches verdâtres ou rougeâtres dont l'aspect ne diffère en rien de celui qu'offrent certains schistes sédimentaires altérés; au dernier stade, elles constituent des argiles à toucher gras dans lesquelles la pyrite n'existe plus qu'à l'état de traces. C'est au milieu de ces produits d'altération des roches pyriteuses que sont situés les restes des anciens travaux exécutés il y a cinquante ans à Kéniéba, par le capitaine Maritz, sur l'initiative du Gouvernement du Sénégal, dans le but de déterminer les conditions d'exploitation de ce gisement.

Les gîtes aurifères que j'ai eu l'occasion de visiter au Bambouck (Kéniéba, Yatella, région de Sadiola, recherches des environs de Guinguilou et de Khakhadian) présentent, à l'exception de celui de Yatella, un certain nombre de caractères communs permettant de les assimiler, au point de vue pétrographique, au gîte de Kéniéba qui vient d'être décrit.

On peut en effet constater que dans les localités énumérées plus haut :

1° Les terres lavables constituent des latérites en place formées sous le conglomérat;

2° Les roches dont proviennent ces latérites présentent toujours des traces manifestes de puissantes actions dynamiques;

3° Ces roches sont constamment des microgranites associés à des roches basiques (ces dernières sont toutes indéterminables par suite de leur altération profonde, ou en raison de modifications locales analogues à celles décrites pour Kéniéba);

4° L'une au moins de ces deux sortes de roches se montre toujours chargée de pyrite aurifère.

J'ai effectué la recherche *qualitative* de l'or dans ces roches pyriteuses en employant la méthode suivante, basée sur la

résistance que présentent les minéraux tels que la pyrite, la marcasite, la pyrrhotine et le mispickel, à l'action de l'acide fluorhydrique :

La roche pyriteuse, finement pulvérisée, est attaquée rapidement par l'acide fluorhydrique ordinaire; le résidu de l'attaque, séparé de la silice gélatineuse formée pendant la réaction, est traité par de l'eau régale jusqu'à dissolution complète.

La dissolution ainsi obtenue, après élimination des produits nitreux, est précipitée par du zinc pur. Le dépôt qui se forme est traité par de l'acide nitrique étendu pour dissoudre le cuivre qui a pu se séparer, lavé, puis redissous dans l'eau régale.

Une fois les produits nitreux chassés, cette dernière liqueur, fortement acidifiée par de l'acide chlorhydrique et chauffée avec de l'étain en grenaille, fournit la réaction de l'or, pour peu que ce métal y soit renfermé en quantité appréciable.

100g d'un microgranite renfermant 5 pour 1000 de pyrite ayant une teneur en or de 85g à la tonne (soit 42μ,5 d'or pour les 100g de roche fraîche), traités de cette façon, m'ont fourni une solution donnant très nettement la réaction de l'or.

A Yatella (gisement non compris dans l'ensemble de ceux envisagés plus haut), l'exploitation est abandonnée depuis longtemps, les terres que l'on y lavait étaient également latéritiques; elles provenaient d'un gabbro ophitique ouralitisé, dont je n'ai trouvé que des fragments profondément altérés; ce gabbro ne présente pas de traces d'actions dynamiques, il ne paraît pas être en relation avec des roches microgranitiques ou autres, enfin il ne renferme pas de pyrite.

Tels sont les caractères pétrographiques généraux des divers gîtes aurifères que j'ai visités dans le Bambouk; parmi ceux-ci le gîte de Sadiola, en raison de l'importance des tra-

vaux anciens ou récents que l'on y peut explorer, est le seul qui permette d'étudier le mode de répartition de l'or dans les latérites que les indigènes exploitent.

Ces latérites proviennent principalement d'un microgranite albitique, hololeucocrate, présentant les caractères structurels de l'alsbachite du Mélibocus (Odenwald). Cette roche, profondément fissurée, chargée de pyrite aurifère, est incontestablement en relation avec une roche basique absolument indéterminable.

La formation latéritique exploitée à Sadiola est aurifère sur toute sa puissance, cependant l'or n'est pas uniformément réparti dans sa masse; en effet, la teneur en métal précieux augmente avec la profondeur, et devient maximum à un niveau correspondant à peu près au niveau hydrostatique des environs immédiats des mines [1].

Il y a lieu de remarquer que l'or contenu dans ces latérites n'est que partiellement amalgamable : le niveau d'enrichissement maximum en or total et en or amalgamable est le même.

En raison de ce qui précède, il semble possible d'admettre qu'à Sadiola : des microgranites profondément fissurés ont été soumis sous le conglomérat ferrugineux à la décomposition latéritique; au cours de celle-ci, la pyrite aurifère qui les imprégnait fut totalement altérée. L'or, à quelque état qu'il ait été à la suite de ces transformations, a été entraîné par l'eau de ruissellement à travers les interstices rocheux jusqu'au niveau hydrostatique du territoire immédiat des mines; il y a formé par suite de son accumulation une zone d'enrichissement maximum.

---

[1] Il est difficile de se prononcer d'une façon plus précise à cet égard, le niveau hydrostatique de régions tropicales telles que le Bambouck étant soumis à des variations considérables dans le cours d'une même année, et en particulier pendant la saison sèche.

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE.

ANNÉE 1904. — BULLETIN N° 5.

Compte rendu de la séance du 5 mai 1904.

PRÉSIDENCE DE M. A. DE GRAMONT.

M. le PRÉSIDENT fait part de la mort de M. *Ch. Soret*, professeur à l'Université de Genève.

M. DE GRAMONT présente quelques clichés de spectres de silicates fondus.

Les roches filoniennes basiques de la région de l'Arbizon (Hautes-Pyrénées);

Par M. DE ROMEU.

Les massifs granitiques des Pyrénées et les terrains paléozoïques avoisinants sont traversés par un très grand nombre de roches filoniennes.

Les unes, appartenant à la famille granitique (pegmatites, microgranulites, aplites), ont été étudiées par de nombreux auteurs. Les autres plus basiques n'ont au contraire fait

l'objet que de courtes descriptions de la part de quelques rares géologues pyrénéens (¹); quelques autres les ont brièvement signalées, mais la plupart les ont passées sous silence.

Ces roches sont cependant très abondantes quoique très inégalement réparties entre les différents massifs. Le massif de Néouvielle, situé au sud du Pic du Midi de Bigorre, est sans contredit un des plus riches, en particulier, dans la région du cirque d'Arbizon. Ce gisement a été signalé par M. A. Lacroix (²) et ce sont les échantillons qu'il a bien voulu nous confier et ceux que nous avons recueillis nous-mêmes, qui ont constitué les matériaux de notre étude.

Le pic de Montfaucon, qui surplombe à l'est le cirque de même nom et à l'ouest le cirque d'Arbizon, forme un pointement granitique détaché de la grande masse du granite de Néouvielle. De toute part il est entouré par des schistes et des calcaires, d'âge Dinantien d'après M. A. Bresson (³), qui à son contact présentent les phénomènes de métamorphisme si intenses et les minéraux divers (axinite, idocrase, pyrénéite, etc.) qui ont rendu cette région classique.

Ces sédiments sont sillonnés par des filons de roches éruptives dont l'épaisseur varie de quelques centimètres à 1^m. Peut-être ces filons constituent-ils les cheminées des roches

---

(¹) Beaugey, *Étude sur les sources minérales de Cauterets* (*Annales des Mines*, 9ᵉ série, t. I, p. 319, Paris, 1892). — A. Lacroix, *Minéralogie de la France et de ses colonies*, t. I, p. 682, Paris, 1893-1895; t. II, p. 191, Paris, 1897; *Le granite des Pyrénées et ses phénomènes de contact* (deuxième Memoire) (*Bulletin des Services de la Carte géologique de la France*, p. 43 et 63, Paris, 1900). — H. Rosenbusch, *Mikroskopische Physiographie der Massigen Gesteine*, p. 449. 3ᵉ édition, Stuttgard, 1896.

(²) *Les Pyrénées* (*roches cristallines*) (Extrait du *livret-guide* publié par le Comité d'organisation du VIIIᵉ Congrès géologique international, p. 31, Paris, 1900).

(³) *Études sur les formations anciennes des Hautes et Basses-Pyrénées* (*haute chaîne*) (*Bulletin des Services de la Carte géologique de la France*, p. 174, Paris, 1903).

volcaniques? Ne connaissant dans la région ni coulées, ni tufs, il est impossible de nier ou d'affirmer leur venue au jour. Les éboulis qui tapissent le fond du cirque de Montfaucon permettent d'en recueillir avec facilité une très grande abondance d'échantillons. Ces roches varient depuis l'andésite très vitreuse, presque dépourvue de silicate ferromagnésien jusqu'à la diabase ophitique riche en augite, par l'intermédiaire d'une andésite augitique à augite. Mais, quoique l'on observe entre ces deux termes extrêmes tous les passages, soit de structure, soit de composition minéralogique, elles se rangent d'après leur richesse en pyroxène autour de deux types très nets que l'on peut même distinguer macroscopiquement.

Type A.

A L'ŒIL NU, ce type est constitué par une roche porphyrique à deux temps très tranchés de consolidation où de très nombreux cristaux de feldspath-plagioclase blanc, à cassure brillante, se détachent nettement sur une pâte gris noirâtre compacte.

Quoique ces feldspaths soient assez profondément décomposés comme le montre l'examen microscopique, ils n'ont que très rarement l'aspect cireux de couleur verdâtre; leur cassure miroitante et presque *microtinique* permet souvent d'y constater la présence de la macle de Carlsbad et de la macle de l'albite. Ils sont aplatis suivant g^1 (010) et se présentent par suite, en général, en baguettes allongées qui ne dépassent pas 1^{cm} de plus grande dimension.

Ils sont accompagnés par de nombreuses mouches de pyrite et par quelques petits cristaux d'augite brun noirâtre arrondis et noyés dans une pâte en général de couleur gris foncé, mais qui cependant peut être un peu plus claire et même dans les types très vitreux incline vers une teinte verdâtre.

Au MICROSCOPE, les roches de ce type présentent une structure microlitique très nette, à deux temps très séparés de cristallisation avec un résidu vitreux.

Les phénocristaux sont très nombreux, très bien développés et présentent le plus souvent des formes propres; ils sont entourés par des microlites très ténus, parfois filiformes, sans direction de fluidalité, qui sont eux-mêmes englobés par un verre plus ou moins abondant suivant les échantillons.

Ce sont les *plagioclases* qui constituent la majeure partie des cristaux du premier temps; ils sont en grands individus, possédant des formes géométriques et allongés en général perpendiculairement à g^1 (**010**).

Ils ne présentent pas le moindre indice de zones concentriques de composition chimique variable et appartiennent à une andésine basique ne dépassant pas une teneur de 40 pour 100 d'anorthite. En effet, d'après les propriétés optiques des sections voisines de la zone perpendiculaire à g^1 (**010**), ils se placent entre les épures stéréographiques V et IV de M. Michel Lévy ([1]), représentant le labrador à 47 pour 100 d'anorthite et l'andésine à 34 pour 100, très près de ce dernier feldspath.

Quoique montrant presque toujours des traces de décomposition plus ou moins développée, les cristaux de feldspath sont en général assez frais. C'est la décomposition en minéraux phylliteux qui est la plus fréquente; le plus souvent ils sont transformés en muscovite (séricite) qui apparaît en très petites paillettes dans les clivages ou s'étale au contraire en larges plages. Parfois aussi les feldspaths sont mouchetés de calcite.

Dans quelques échantillons très riches en verre, et surtout

([1]) *Études sur la détermination des feldspaths*, 1er fascicule, Paris, 1894.

au voisinage des parois ou des enclaves calcaires, les individus de feldspath sont brisés en morceaux séparés par des microlites ou de la matière vitreuse. Ces fragments de cristaux ne sont pas contournés; nous ne pouvons donc pas attribuer cette cassure à l'action du dynamométamorphisme s'exerçant sur la roche déjà solidifiée. Selon toute vraisemblance elle est due à la montée du magma très pâteux et à son frottement contre les bords du filon et les enclaves. Ces échantillons représentent une sorte de brèche friction.

L'augite est le seul silicate ferro-magnésien du premier temps et elle ne joue dans ce type qu'un rôle tout à fait accessoire. Elle est en cristaux de petite taille, sans formes propres, souvent en grains arrondis comme si elle avait été partiellement digérée par le magma.

Très fréquemment elle présente la macle suivant h^1 (**100**); un échantillon nous a montré la macle unciforme par pénétration suivant o^1 (**101**).

Elle est très limpide, souvent incolore, mais souvent aussi très faiblement teintée en lilas rosé très pâle; elle ne possède pas de polychroïsme appréciable, mais jouit d'une très grande dispersion. En général, elle montre très nettement la structure en sablier. Ces diverses propriétés nous font voir que nous avons affaire à une augite titanifère.

Parfois elle se trouve en contact avec le feldspath et le moule; elle lui est donc postérieure. Ceci nous explique pourquoi l'augite est beaucoup plus fréquente dans les microlites que dans les cristaux du premier temps; la roche a terminé son stade de roche de profondeur avant que les phénocristaux d'augite aient eu le temps de se développer.

L'augite est en général très fraîche et ce n'est que par exception qu'elle présente des indices de décomposition; elle n'est jamais ouralitisée mais parfois partiellement transformée en pennine. Peut-être est-ce dans ce mode de trans-

formations qu'il faut voir l'origine de ces nodules de pennine et de séricite, avec parfois un centre de calcite, qui parsèment toutes les préparations de ces roches de l'Arbizon.

La *plyrite* est très abondante, en très petits individus, et ne manque dans aucun des échantillons.

Au deuxième temps ce sont encore les *feldspaths* qui fournissent l'élément prépondérant. Ils appartiennent à deux générations distinctes. Les uns d'assez grande taille, allongés en général suivant pg^1 (001)(010) mais ayant parfois des formes carrées, sont peu abondants; ils constituent un intermédiaire entre les phénocristaux et les autres microlites feldspathiques, ceux-là très nombreux, filiformes, se pressant les uns contre les autres ou, dans les échantillons peu cristallins, nageant dans la matière vitreuse.

Les uns et les autres sont maclés suivant la loi de l'albite, mais n'offrent que très rarement la macle de Carlsbad. Le plus souvent ils s'éteignent en long ou sous des angles très petits; la majorité des individus doit donc être rapportée à l'oligoclase. Cependant quelques rares sections nous ont montré, dans la zone perpendiculaire à g^1 (010), des angles d'extinction allant jusqu'à l'angle d'extinction maximum de l'andésine, nous avons donc affaire à des microlites variant entre l'andésine et l'oligoclase, avec prépondérance de ce dernier feldspath.

Ces plagioclases sont souvent groupés en croix, ce qui indique une certaine tranquillité et une certaine lenteur dans le refroidissement. Ils sont tous remarquablement frais, même quand les phénocristaux sont assez fortement altérés.

L'*augite* peut parfois manquer presque complètement, mais en général cependant elle est plus abondante que dans le premier temps. Elle possède tous les caractères que nous avons signalés dans cette dernière à un degré plus élevé; nous pouvons en déduire qu'elle est encore plus titanifère.

Elle se présente en grains arrondis, plus habituellement qu'en individus allongés.

Dans certains échantillons, le microscope nous a montré à un très fort grossissement de rares paillettes de *biotite*.

Le verre ne manque dans aucune des préparations ; il est transformé en une pennine très peu réfringente et biréfringente.

D'après ce que nous venons de voir, les roches du type A sont des *andésites augitiques à andésine et à augite* qui passent à des andésites augitiques, à des andésites à augite et à des andésites sans silicate ferro-magnésien.

Type B.

A L'ŒIL NU la roche n'a pas la structure nettement porphyrique qui donne un cachet au type précédent ; de-ci de-là seulement d'assez rares cristaux de feldspath blanc verdâtre et d'augite foncée apparaissent faiblement dans une pâte grisâtre peu compacte.

Les *feldspaths* sont ternes, d'aspect cireux, sans formes propres ; par suite de son état de décomposition ce n'est qu'exceptionnellement qu'on peut y constater la macle de Carlsbad et celle de l'albite. Ils se détachent à peine sur la pâte qui est ponctuée de petits grains d'*augite* et de très fines particules de *pyrite*. Dans les échantillons les plus cristallins on constate que ces cristaux d'augite moulent les feldspaths, et par la diminution corrélative de la pâte on voit la roche prendre l'aspect d'une fine mosaïque enchevêtrée de ces deux minéraux.

Lorsque la roche est fortement décomposée, elle présente parfois, sur la cassure, des nodules arrondis de *calcite* secondaire atteignant 1^{cm} de diamètre. Sur les surfaces exposées à l'air, les agents atmosphériques attaquent plus facilement cette calcite que la roche qui l'entoure et cette dernière

offre des vides vacuolaires quelquefois plus ou moins remplis par un résidu de calcite non encore dissoute.

Au MICROSCOPE on constate que les deux temps de cristallisation sont bien moins dissemblables que dans le premier type; de plus le deuxième temps possède une très grande importance vis-à-vis du premier et du résidu vitreux qui sont l'un et l'autre beaucoup plus réduits que dans le type précédent et peuvent même manquer presque entièrement.

Le plus souvent la structure n'est pas purement microlitique, elle a des tendances à être intersectale et devient même ophitique dans les échantillons les plus cristallins.

Le premier temps se compose essentiellement de grands cristaux de *feldspath* présentant la macle de Carlsbad et celle de l'albite et offrant parfois de fines cassures transversales à l'allongement qui est le plus généralement perpendiculaire à g^1(**010**).

Ils subissent la même décomposition que les plagioclases du type A, comme eux ne sont pas zonés et appartiennent à l'andésine. La *pyrite* ne fait jamais défaut; l'*augite* par contre manque très souvent dans le premier temps; elle présente tous les caractères du type A; une plaque nous en a offert une section avec les plans de séparation h^1.

Au deuxième temps, les cristaux de *feldspath* possèdent de plus grandes dimensions que ceux de l'autre type; ils sont en baguettes allongées perpendiculairement à g^1(**010**), enchevêtrées entre elles et renfermant dans les espaces ainsi formés de petits cristaux d'*augite* et de la *pennine* résultant de la décomposition du résidu vitreux. La macle de Carlsbad n'y est que rarement associée à la macle de l'albite qui elle y existe toujours. Ils sont en général remarquablement frais même quand la roche est criblée de pennine et de nodules de calcite. Ils appartiennent à l'oligoclase-andésine et à l'andésine.

L'*augite* est semblable à celle du type A ; elle est parfois en petits cristaux allongés, traversés par de nombreuses cassures transversales. Elle se trouve entre les interstices des feldspaths et, quand elle se présente en plages plus grandes, elle les moule complètement en donnant à la roche la structure ophitique.

Il existe un peu de *biotite* en très petites paillettes.

Dans toutes les roches de l'Arbizon du type A aussi bien que du type B, on observe quelques phénocristaux ayant conservé leurs formes propres mais complètement décomposés en minéraux serpentineux ; le minéral primitif était du *péridot*.

Sous-type B'.

Quoique un peu différente macroscopiquement de celles que nous venons de décrire, c'est à ce type B que nous rattacherons, en en faisant un sous-type B', une roche dont l'examen microscopique nous fait voir l'identité. Dans une pâte grisâtre elle montre des nodules arrondis de plusieurs centimètres de diamètre constitués par une association de très grands éléments de felspath *plagioclase* blanc, non décomposé et de *hornblende* brune ; on y voit aussi ce feldspath et cette hornblende en cristaux séparés avec des formes rondes. Cette roche doit être rapprochée des roches semblables que l'on rencontre dans les environs de Barèges, dans les éboulis de la Piquette deras Lids et aussi non loin de Luz dans les blocs roulés du torrent de l'Ise ([1]).

Au microscope, nous constatons que le deuxième temps est semblable à celui du type B. Au premier temps nous constatons que les feldspaths sont remarquablement frais ; ils montrent la macle du péricline en plus de celles déjà citées et ren-

([1]) D'après un échantillon que je dois à l'obligeance de M. A. Bresson.

ferment à leur périphérie un très léger zonage. Ils renferment des inclusions volumineuses de pyrite et d'apatite en cristaux très bien formés; ils sont très fortement résorbés et, en plus de la hornblende, contiennent entre eux de longues paillettes de biotite que leur position a partiellement préservées d'une digestion complète par le magma.

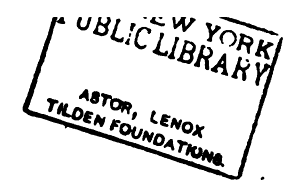
En résumé les roches du type B sont des andésites augitiques à andésine passant d'un côté à la diabase ophitique et de l'autre à une andésite augitique à augite qui les rattache au type précédent.

Nous nous réservons d'étudier ultérieurement les relations de ces deux types entre eux sur le terrain ainsi que leurs minéraux de décomposition et leurs phénomènes de contact.

Le Secrétaire, gérant :

MAURICE BLONDEL.

34644 Paris. — Imprimerie GAUTHIER-VILLARS. quai des Grands-Augustins, 55.



BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE.

ANNÉE 1904. — BULLETIN N° 6.

Compte rendu de la séance du 9 juin 1904.

PRÉSIDENCE DE M. DUFET.

M. DE SCHULTEN fait une Communication sur quelques chromates, iodates, phosphates et arséniates artificiels.

M. DUFET entretient la Société de ses recherches sur les phénomènes de polarisation rotatoire présentés par les cristaux biaxes.

Sur le phosphate double d'ammonium et de calcium;

Par M. A. DE SCHULTEN.

Ce sel, de la formule $AzH^4CaPO^4 + 7H^2O$, a été préparé et analysé pour la première fois par feu M. Henri Lasne (1). En suivant ses indications pour la préparation de ce corps je l'ai obtenu en cristaux très nets et assez grands pour se prêter

(1) *Bull. Soc. chim.*, 3e série, t. XXVII, p. 131.

aux mesures goniométriques. Leurs dimensions atteignent environ 1^{mm} suivant les axes *c* et *a* et $0^{mm},8$ suivant l'axe *b*.

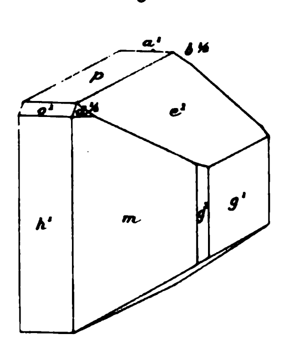
Les cristaux sont limpides et les faces sont brillantes. Mais ils s'altèrent assez vite à l'air en perdant de l'eau et de l'ammoniaque.

La perte éprouvée par $1^{g},5$ de matière abandonnée à l'air libre pendant 6 heures s'est élevée à 2,2 pour 100.

Deux déterminations de la perte au rouge ont donné 54,89 et 54,21 pour 100 (calculé pour $AzH^4CaPO^4 + 7H^2O$: 54,50 pour 100).

La densité des cristaux, déterminée avec $5^{g},34$ de matière, a été trouvée égale à 1,561 à 15°. Le volume moléculaire est

Fig. 1.



178,9; celui de l'arséniate correspondant, que j'ai étudié dans un travail précédent ([1]), est 169,6.

Le sel $AzH^4CaPO^4 + 7H^2O$ est en cristaux monocliniques (*fig.* 1).

On observe les faces $g^1(010)$, $p(001)$, $h^1(100)$, $m(110)$,

---

([1]) *Bull. Soc. de Min.*, t. XXVI, 1903, p. 9.

$g^3(120)$, $o^1(101)$, $a^1(\bar{1}01)$, $e^1(011)$, $d^{\frac{1}{2}}(111)$, $b^{\frac{1}{2}}(\bar{1}11)$.

$$\gamma = 88°34'.$$

Le rapport des axes est

$$a : b : c = 0,5256 : 1 : 0,59316.$$

La figure représente l'aspect habituel des cristaux ; les faces $e^1(011)$, $m(110)$ et $g^3(120)$ manquent sur la moitié gauche et les faces $d^{\frac{1}{2}}(111)$ et $b^{\frac{1}{2}}(\bar{1}11)$ sur la moitié inférieure du cristal.

Angles des normales.

	Observé.	Calculé.
$ph^1(001)(\bar{1}00)$	*91°26′	
$e^1g^1(011)(010)$	*59.20	
$mg^1(110)(010)$	*62.17	
$g^1p(010)(001)$	89.59	90° 0′
$g^1h^1(010)(100)$	89.57	90. 0
$me^1(\bar{1}10)(011)$	77.20	77.24
$g^3g^1(120)(010)$	43.44	43.35
$o^1h^1(101)(100)$	40.51	40.55
$d^{\frac{1}{2}}o^1(111)(101)$	21.17	21.14
$a^1h^1(\bar{1}01)(\bar{1}00)$	42. 3	42.10
$b^{\frac{1}{2}}a^1(\bar{1}11)(\bar{1}01)$	21.44	21.43

On observe les zones suivantes :

$h^1(100)\,o^1(101)\,p(001)\,a^1(\bar{1}01)$, $g^1(010)\,e^1(011)\,p(001)$,

$g^1(010)\,b^{\frac{1}{2}}(\bar{1}11)\,a^1(\bar{1}01)$, $g^1(010)\,d^{\frac{1}{2}}(111)\,o^1(101)$,

$h^1(100)\,m(110)\,g^3(120)\,g^1(010)$.

Sur g^1 (010) l'extinction se fait sous un angle de 9° environ avec l'axe c dans l'angle aigu ph^1 (001) ($\bar{1}00$). Le plan des axes optiques est perpendiculaire à g^1 (010).

Le phosphate double d'ammonium et de calcium est donc isomorphe avec l'arséniate correspondant, que j'ai examiné précédemment [1].

(*Travail fait au Laboratoire d'Enseignement pratique de Chimie générale à la Sorbonne.*)

Production artificielle de la hopéite;

Par M. A. de Schulten.

Dans un travail précédent [2] j'ai montré que par l'action d'un sel de zinc sur l'arséniate disodique en solution très étendue, on obtient : à froid, la kœttigite,

$$Zn^3(AsO^4)^2 + 8H^2O;$$

à chaud, l'adamine, Zn^2OHAsO^4.

Si dans les réactions précédentes on substitue le phosphate disodique à l'arséniate disodique, on n'obtient pas de composés correspondants à la kœttigite et à l'adamine.

En effet, si l'on mélange une solution de 4g,5 du sel $ZnSO^4 + 7H^2O$ dans 2l d'eau avec une solution de 3g,7 du sel $HNa^2PO^4 + 12H^2O$ dans 1l d'eau, à froid, on obtient de petits cristaux de hopéite, $Zn^3(PO^4)^2 + 4H^2O$ (teneur en eau : trouvé, 15,80 pour 100; calculé, 15,50) et si l'on fait agir la solution de phosphate disodique, goutte à goutte, sur la solution de sulfate de zinc, chauffée au bain-marie, on obtient aussi de

---

(1) *Loc. cit.*

(2) *Bull. Soc. de Min.*, t. XXVI, 1903, p. 91.

petits cristaux de hopéite (teneur en eau : trouvé, 15,71 pour 100).

La hopéite a été obtenue artificiellement par Debray ([1]), soit en faisant digérer une solution d'acide phosphorique avec du carbonate de zinc et faisant bouillir la liqueur filtrée, soit en chauffant à 70° au sein de l'eau le phosphate de zinc obtenu par double décomposition. MM. Friedel et Sarasin ([2]) ont aussi préparé la hopéite par divers procédés. Notamment ces savants, en chauffant en tube clos, à 150° — 180°, une solution d'acide phosphorique avec de l'oxyde ou du carbonate de zinc, ont obtenu des cristaux présentant les faces g^1 (**010**), m (**110**), p (**001**) et a^3(**103**) (on a mesuré approximativement $mm = 120°$, $mg^1 = 120°$, $a^3a^3 = 150°$).

Je viens d'appliquer à la production de la hopéite le procédé de cristallisation que j'ai fait connaître précédemment ([3]).

On fait le mélange d'une solution de 45^g du sel

$$ZnSO^4 + 7H^2O$$

dans $0^l,5$ d'eau avec une solution de 37^g du sel

$$HNa^2PO^4 + 12H^2O$$

dans $0^l,5$ d'eau, on dissout le précipité de phosphate de zinc dans l'acide sulfurique, employé en petit excès, on chauffe la solution dans un ballon au bain-marie et l'on y fait tomber très lentement, goutte à goutte, de l'ammoniaque à 0,3 pour 100. Au bout de 8 jours on recueille des cristaux de hopéite qui atteignent $4^{mm},4$ suivant l'axe c, 1^{mm} suivant l'axe b et $0^{mm},6$ suivant l'axe a.

La densité des cristaux, déterminée avec $11^g,7$ de matière,

---

([1]) *Ann. de Chim. et Phys.*, t. LXI, 1860, p. 436.
([2]) *Bull. Soc. de Min.*, t. II, 1879, p. 153.
([3]) *Comptes rendus*, t. CXXXVI, 1903, p. 1444.

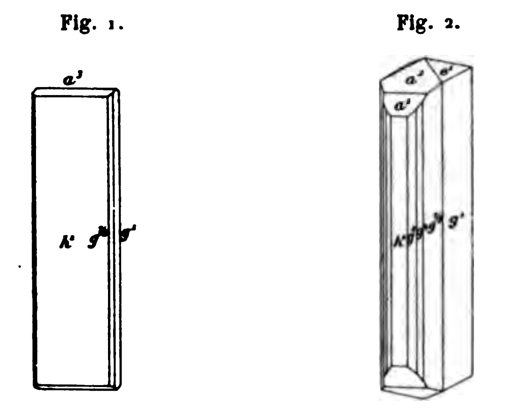
a été trouvée égale à 3,109 à 15°. La densité de la hopéite naturelle est 2,85 d'après M. Lévy (dans Dana).

Les cristaux sont parfaitement limpides. Les faces sont brillantes. Les reflets sont bons.

On observe les faces $h^1(100)$, $g^1(010)$, $g^{\frac{7}{5}}(160)$, $a^3(103)$, $a^1(101)$, $e^1(011)$, $g^2(130)$, $g^3(120)$.

Les cristaux sont tantôt aplatis suivant $h^1(100)$ (*fig.* 1), tantôt suivant $g^1(010)$ (*fig.* 2). Sur les cristaux du premier

Fig. 1. Fig. 2.



type on observe le plus souvent seulement les faces $h^1(100)$, $g^1(010)$, $g^{\frac{7}{5}}(160)$ et $a^3(103)$. Les faces $g^{\frac{7}{5}}(160)$ et $e^1(011)$, n'ont pas été observées sur les cristaux naturels.

La face $g^1(010)$ et les faces des prismes sont striées parallèlement à l'axe c.

Le rapport des axes est

$$a : b : c = 0,5759 : 1 : 0.4759.$$

Le rapport des axes des cristaux naturels est

$$a : b : c = 0,5722 : 1 : 0,4717 \text{ (Lévy, dans Dana).}$$

Angles des normales.

	Observé.	Calculé.
$a^3 h^1$(103)(100)................	*74°36′	
$e^1 a^3$(011)(103)................	*29.29	
$e^1 g^1$(011(010)................	64.33	64°33′
$a^1 a^3$(101)(103)................	24. 3	24.10
$a^3 g^{\frac{7}{5}}$(103)(160)................	85.36	85.46
$g^{\frac{7}{5}} h^1$(160)(100)................	73.33	73 52
$g^{\frac{7}{5}} g^2$(160)(130)................	14. 4	13.56
$g^3 h^1$(120)(100)................	48.57	49. 2
$e^1 g^{\frac{7}{5}}$(011)(160)................	65.37	65.37
$e^1 g^3$(011)(120)................	71.10	71. 3

Le plan des axes optiques est parallèle à p(001). La bissectrice est perpendiculaire à g^1(010). Les cristaux sont négatifs, $\rho < v$. Ces propriétés optiques concordent avec celles du minéral naturel.

Il y a trois clivages: suivant h^1(100), g^1(010) et p(001); les deux premiers sont faciles, le dernier est moins facile.

La hopéite artificielle est rayée par la fluorine; elle raye le calcaire bien que difficilement. La dureté est donc un peu supérieure à 3. La dureté du minéral naturel est de 2,5 à 3 (dans Dana).

(*Travail fait au Laboratoire d'Enseignement pratique de Chimie générale à la Sorbonne.*)

Production artificielle de haidingérites de baryum et de strontium.

Par M. A. de Schulten.

Ayant obtenu la haidingérite (¹) $HCaAsO^4 + H^2O$ par le procédé de cristallisation (²) qui m'a fourni plusieurs phosphates et arséniates cristallisés, j'ai voulu essayer de l'appliquer à la production de haidingérites de baryum et de strontium. Ces expériences ont été couronnées de succès.

La haidingérite de baryum s'obtient de la manière suivante : on dissout 100^g du sel $BaCl^2 + 2H^2O$ dans 250^{cm^3} d'eau et 128^g du sel $HNaAsO^4 + 7H^2O$ dans 250^{cm^3} d'eau, on mélange les solutions et l'on dissout presque tout le précipité dans l'acide chlorhydrique à chaud. On chauffe la liqueur filtrée dans un ballon au bain-marie et l'on y fait tomber très lentement, goutte à goutte, de l'ammoniaque à 0, 3 pour 100. Au bout de quelques jours, parfois au bout de 24 heures, on recueille des cristaux mesurables de haidingérite de baryum.

Il est à remarquer que dans cette expérience, où la température de la liqueur a été de 90° au moins, je n'ai pas observé la formation d'une trace de monétite arséniée de baryum, $HBaAsO^4$.

L'analyse des cristaux a donné les nombres suivants qui

(¹) *Bull. Soc. de Min.*, t. XXVI, 1903, p. 18.
(²) *Comptes rendus*, t. CXXXVI, 1903, p. 1444.

conduisent à la formule $HBaAsO^4 + H^2O$:

	Trouvé.		Calculé.
H^2O	9,19		9,15
BaO	51,79		51,93
As^2O^5	39,02	(par diff.)	38,92
	100,00		100,00

La densité des cristaux, déterminée avec 1gr,20 de matière a été trouvée égale à 3,926 à 15°. Le volume moléculaire est 75,3.

La haidingérite de baryum (*fig.* 1) est en tables orthorhombiques, limpides et brillantes. Les faces donnent de bonnes images.

Fig. 1.

Les cristaux atteignent parfois plusieurs millimètres dans leur plus grande dimension. Un des cristaux que j'ai mesurés a 2mm,4 suivant l'axe *c*, 3mm suivant l'axe *b* et 0mm,9 suivant l'axe *a*.

On observe les faces : h^1 (100), *x* (121), *y* (142), g^1 (010), a^1 (101) et parfois *p* (001), e^1 (011) et $g^{\frac{9}{7}}$ (180), très réduites.

Le rapport des axes est

$$a : b : c = 0,41708 : 1 : 0,44300$$

Angles des normales.

	Observé.	Calculé.
$xh^1(121)(100)$	*51°.31′	
$xx(121)(12\bar{1})$	*71.44	
$xx(121)(\bar{1}21)$	62.32	62°.32′
$a^1h^1(101)(100)$	43.21	43.16 ½
$xy(121)(142)$	16.45	16.48 ½
$px(001)(121)$	54. 1	54. 8
$e^1p(011)(001)$	23.52	23.54
$e^1x(011)(121)$	41.46	41.46
$g^{\frac{9}{7}}h^1(180)(100)$	73.19	73.19

Parmi les zones observées je signalerai les suivantes :

$$\overline{h^1(100)a^1(101)p(001)},\quad \overline{h^1(100)x(121)y(142)},$$

$$\overline{g^1(010)e^1(011)p(001)},\quad \overline{e^1(011)x(121)a^1(10\bar{1})}.$$

Sur $h^1(100)$ l'extinction est diagonale. Le plan des axes optiques est dans $h^1(100)$, comme dans la haidingérite de calcium.

Il n'y a pas de clivage net.

La haidingérite de strontium a été obtenue en utilisant l'eau mère provenant de la préparation de la monétite arséniée de strontium (*voir* la Note suivante). Je dissous 100g du sel $SrCl^2 + 6H^2O$ dans 150cm³ d'eau et 117g du sel

$$HNa^2AsO^4 + 7H^2O$$

dans 350cm³ d'eau, je mélange les solutions, je dissous le précipité, à chaud, dans l'acide chlorhydrique concentré et j'ajoute de l'ammoniaque jusqu'à ce qu'il se produise un léger précipité. Je chauffe la liqueur filtrée dans un ballon au bain-marie à 90° environ et j'y fais tomber très lentement, goutte à goutte, de l'ammoniaque à 0,3 pour 100. Le lendemain on

voit déjà d'assez grands cristaux dans le ballon et au bout de 6 jours on recueille environ 30g de cristaux de monétite arséniée $HSrAsO^4$. Je les décrirai dans la Note suivante.

Si l'on continue à faire agir l'ammoniaque sur l'eau mère de ces cristaux, à la température de 40° seulement, il se forme peu à peu des cristaux mesurables de haidingérite de strontium. Si l'on fait agir sur l'eau mère de ces derniers cristaux, à la température ordinaire et très lentement, de l'ammoniaque à l'état gazeux, on obtient toujours des cristaux de haidingérite de strontium. La haidingérite obtenue à froid est souvent mélangée à des cristaux cubiques qui sont probablement un arséniate double de strontium et de sodium.

L'analyse de la haidingérite de strontium a donné les nombres suivants qui conduisent à la formule

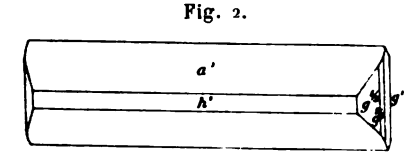
$$HSrAsO^4 + H^2O:$$

	Trouvé.	Calculé.
H^2O	10,95	11,00
SrO	41,96	42,18
As^2O^5	47,09 (par diff.)	46,82
	100,00	100,00

La densité des cristaux, déterminée avec 5g,18 de matière, a été trouvée égale à 3,606 à 15°. Le volume moléculaire est 68,1.

La haidingérite de strontium (*fig.* 2) est en prismes ortho-

Fig. 2.



rhombiques limpides et brillants. Les faces donnent de bonnes images.

Les cristaux ont jusqu'à 1mm suivant l'axe *c*, 2mm,5 suivant l'axe *b* et 0mm,8 suivant l'axe *a*.

On observe les faces $a^1(101)$, $h^1(100)$, $g^{\frac{5}{3}}(140)$, $g^{\frac{9}{7}}(180)$, $g^1(010)$ et parfois une pyramide dont les faces sont courbes.

Sur des cristaux formés plus vite on observe seulement les faces $a^1(101)$, $h^1(100)$ et $g^{\frac{5}{3}}(140)$, mate.

Le rapport des axes est

$$a : b : c = 0,42520 : 1 : 0,44115$$

Angles des normales.

	Observé.	Calculé.
$a^1h^1(101)(100)$	*43°.57′	
$g^{\frac{5}{3}}h^1(140)(100)$	*59.33	
$g^{\frac{5}{3}}a^1(140)(101)$	68.42	68°.36′
$g^{\frac{9}{7}}h^1(180)(100)$	73.39	73.37
$g^{\frac{9}{7}}a^1(180)(101)$	78.18	78.17

Je signalerai les zones suivantes que j'ai observées :

$$\overline{h^1(100)a^1(101)},$$

$$\overline{g^1(010)g^{\frac{9}{7}}(180)g^{\frac{5}{3}}(140)h^1(100)}.$$

Sur $h^1(100)$ l'extinction est longitudinale. Le plan des axes optiques est dans $h^1(100)$, comme dans les haidingérites de calcium et de baryum.

Il y a un clivage suivant $g^1(010)$, comme dans la haidingérite de calcium, mais ce clivage est moins facile que dans ce dernier composé.

*
* *

Je donne ci-dessous un aperçu des constantes cristallographiques et des volumes moléculaires des haidingérites de calcium, de strontium et de baryum. Il en ressort que le sel de strontium se rapproche le plus du sel de calcium par la valeur de l'axe *a* et du sel de baryum par la valeur de l'axe *c*.

	a : *b* : *c*	Volume moléculaire.
$HCaAsO^4 + H^2O$(1)..........	0,42725 : 1 : 0,49279	66,7
$HSrAsO^4 + H^2O$.............	0,42520 : 1 : 0,44115	68,1
$HBaAsO^4 + H^2O$.............	0,41708 : 1 : 0,44300	75,3

(*Travail fait au Laboratoire d'Enseignement pratique de Chimie générale à la Sorbonne.*)

Production artificielle de monétites de baryum, de plomb et de strontium et de monétites arséniées de plomb et de strontium;

Par M. A. DE SCHULTEN.

Je me suis proposé de rechercher si les métaux voisins du calcium fournissaient des composés isomorphes avec la monétite $HCaPO^4$, que j'ai reproduite auparavant (2). Pour obtenir des cristaux mesurables des corps en question j'ai mis en œuvre le procédé de cristallisation que j'ai fait con-

(1) Le rapport des axes et le volume moléculaire sont ceux des cristaux artificiels (*Bull. Soc. de Min.*, t. XXVI, 1903, p. 18).

(2) *Bull. Soc. de Min.*, t. XXIV, 1901, p. 323 et t. XXVI, 1903, p. 11.

naître précédemment [1]. Les résultats de ces recherches sont consignés ci-dessous.

Monétite de baryum. — On obtient ce composé en opérant de la manière suivante. On dissout 25g du sel $BaCl^2 + 2H^2O$ dans 200cm³ d'eau et 37g du sel $HNa^2PO^4 + 12H^2O$ dans 200cm³ d'eau, on mélange les solutions et l'on ajoute de l'acide chlorhydrique concentré, à chaud, jusqu'à ce que presque tout le précipité soit dissous. On chauffe la liqueur filtrée dans un ballon, au bain-marie, et l'on y fait tomber très lentement, goutte à goutte, de l'ammoniaque à 0,3 pour 100. Au bout de 6 jours on recueille des cristaux mesurables de monétite de baryum.

L'analyse des cristaux a donné les nombres suivants qui conduisent à la formule $HBaPO^4$:

	Trouvé.		Calculé.
H^2O	3,99		3,86
BaO	65,52		65,72
P^2O^5	30,49	(par diff.)	30,42
	100,00		100,00

La densité des cristaux, déterminée avec 12g,79 de matière, a été trouvée égale à 4,165 à 15°. Le volume moléculaire est 56,1.

La monétite de baryum est en prismes orthorhombiques (*fig.* 1). Les cristaux sont limpides. Ils atteignent 1mm,3 suivant l'axe *c*, 1mm suivant l'axe *b* et 0mm,5 suivant l'axe *a*.

On observe les faces h^1(100), *m*(110), g^1(010), e^1(011) et parfois de petites faces courbes d'une pyramide. Les faces *m*(110) sont striées verticalement. Les reflets sont bons.

---

[1] *Comptes rendus*, t. CXXXVI, 1903, p. 1444.

Le rapport des axes est

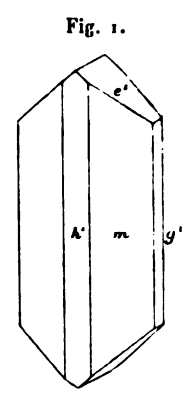
$$a : b : c = 0{,}7133 : 1 : 0{,}8117.$$

Angles des normales.

	Observé.	Calculé.
mg^1(110)(010)	*54°30′	
e^1g^1(011)(010)	*50.56	
e^1m(011)(110)	68.30	68°32′
e^1h^1(011)(100)	89.58	90. 0

Sur h^1(100) et g^1(010) les extinctions sont longitudinales. Le plan des axes optiques est dans h^1(100).

Fig. 1.



Monétite de plomb. — On dissout 15g de nitrate de plomb dans 1l,500 d'eau, on ajoute 10cm³ d'acide nitrique de densité 1,2; on chauffe la liqueur dans un ballon au bain-marie et l'on y fait tomber très lentement, goutte à goutte, 2l d'une solution de 8g du sel $HNa^2PO^4 + 12H^2O$ par litre. Au bout de 7 jours j'ai recueilli environ 8g de grands cristaux de monétite de plomb.

L'analyse des cristaux a donné les nombres suivants qui

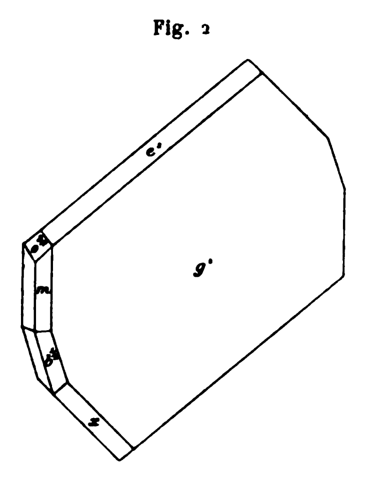
conduisent à la formule $HPbPO^4$:

	Trouvé.	Calculé.
H^2O	3,01	2,97
PbO	73,52	73,58
P^2O^5	23,27	23,45
	99,80	100,00

La densité des cristaux, déterminée avec $7^g,26$ de matière, a été trouvée égale à 5,661 à 15°. Le volume moléculaire est 53,5.

La monétite de plomb est en prismes monocliniques, aplatis suivant g^1 (010) (*fig.* 2). Les cristaux sont brillants et limpides. Ils atteignent 15^{mm} suivant l'axe a, 4^{mm} suivant l'axe c et $0^{mm},5$ suivant l'axe b.

Fig. 2



On observe les faces g^1 (010), m(110), e^1(011), $b^{\frac{1}{2}}$(111), $x(\bar{1}22)$ et $o^{\frac{3}{4}}$(403). Les faces donnent de bonnes images.

$$\gamma = 82°20'.$$

Le rapport des axes est

$$a : b : c = 0,7096 : 1 : 0,8715.$$

Angles des normales.

	Observé.	Calculé.
$mg^1(110)(010)$	*54°53′	
$e^1g^1(011)(010)$	*49.11	
$me^1(\bar{1}10)(011)$	*72.56	
$b^{\frac{1}{2}}g^1(\bar{1}11)(010)$	59.55	59°41′
$b^{\frac{1}{2}}e^1(\bar{1}11)(011)$	45.37	45.39
$b^{\frac{1}{2}}o^{\frac{3}{4}}(\bar{1}11)(\bar{4}0\bar{3})$	73.52	73.56
$xg^1(\bar{1}22)(010)$	52. 7	51.54
$xe^1(\bar{1}22)(011)$	26. 0	25.55
$xo^{\frac{3}{4}}(\bar{1}22)(\bar{4}0\bar{3})$	92.27	92.39

Sur $g^1(010)$ l'extinction se fait sous un angle de 37° environ avec l'axe c dans l'angle obtus $ph^1(001)(100)$. Le plan des axes optiques est parallèle à $g^1(010)$.

Monétite arséniée de plomb. — On dissout 30g de nitrate de plomb dans 500cm³ d'eau et 28g du sel $HNa^2AsO^4 + 7H^2O$ dans 500cm³ d'eau, on mélange les solutions et l'on dissout le précipité, à chaud, dans un petit excès d'acide nitrique. On chauffe la liqueur dans un ballon, au bain-marie, et l'on y fait tomber lentement, goutte à goutte, de l'ammoniaque à 0,3 pour 100. Au bout de 6 jours j'ai recueilli 6g de monétite arséniée de plomb bien cristallisée.

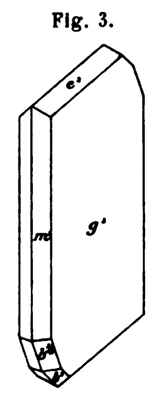
L'analyse des cristaux a donné les nombres suivants qui conduisent à la formule $HPbAsO^4$:

	Trouvé.	Calculé.
H^2O	2,63	2,60
PbO	64,08	64,25
As^2O^5	33,29 (par diff.)	33,15
	100,00	100,00

La densité des cristaux, déterminée avec $6^{g},06$ de matière, a été trouvée égale à 6,076 à 15°. Le volume moléculaire est 57,1.

La monétite arséniée de plomb est, comme le composé phosphoré, en prismes monocliniques aplatis suivant $g^1(010)$ (*fig.* 3). Les cristaux sont brillants et limpides. Ils atteignent

Fig. 3.



$2^{mm},1$ suivant l'axe *a*, $2^{mm},2$ suivant l'axe *c* et $0^{mm},3$ suivant l'axe *b*.

On observe les faces $g^1(010)$, $m(110)$, $e^1(011)$, $b^{\frac{1}{2}}(\bar{1}11)$ et $b^1(\bar{1}12)$. Les faces donnent de bonnes images.

$$\gamma = 84°23'.$$

Le rapport des axes est

$$a:b:c = 0,7212:1:0,8704.$$

Angles des normales.

	Observé.	Calculé.
$mg^1(110)(010)$..............	*54°20′	
$e^1m(011)(110)$...............	*63.46	
$e^1m(011)(\bar{1}10)$...............	*71.15	
$e^1m(0\bar{1}1)(\bar{1}\bar{1}0)$..............	71.16	71°15′

	Observé.	Calculé.
$e^1 g^1$ (011)(010).............	49°.13′	49°. 6′
$b^{\frac{1}{2}} m$ ($\bar{1}$11)($\bar{1}$10).............	35.17	35.20
$b^{\frac{1}{2}} g^1$ ($\bar{1}$11)(010).............	60. 1	59.50
$b^1 b^{\frac{1}{2}}$ ($\bar{1}$12)($\bar{1}$11).............	20.59	21. 0
$b^1 g^1$ ($\bar{1}$12)(010).............	68.55	68.48

Je signalerai les zones

$$\overline{m(1\bar{1}0)\, b^1(\bar{1}12)\, b^{\frac{1}{2}}(\bar{1}11)}, \quad \overline{g^1(010)\, e^1(011)}.$$

Sur g^1 (010) l'extinction se fait sous un angle de 38° environ avec l'axe c dans l'angle obtus ph^1 (001)(100). Le plan des axes optiques est parallèle à g^1 (010).

Monétite de strontium. — On dissout 50g du sel

$$SrCl^2 + 6H^2O$$

dans 200cm³ d'eau et 67g du sel

$$HNa^2PO^4 + 12H^2O$$

dans 200cm³ d'eau; on mélange les solutions et l'on dissout presque tout le précipité, à chaud, dans l'acide chlorhydrique concentré. On chauffe la liqueur filtrée dans un ballon au bain-marie, et l'on y fait tomber lentement, goutte à goutte, de l'ammoniaque à 0,3 pour 100. Au bout de 6 jours on recueille un dépôt de cristaux mesurables de monétite de strontium.

Les mêmes cristaux s'obtiennent par le procédé suivant.

On chauffe de l'acide phosphorique de densité 1,05 au bain-marie et l'on ajoute du carbonate de strontium jusqu'à ce qu'il se produise un léger précipité. La liqueur filtrée,

chauffée en tube scellé à 150°, pendant quelques heures, laisse déposer des cristaux de monétite de strontium.

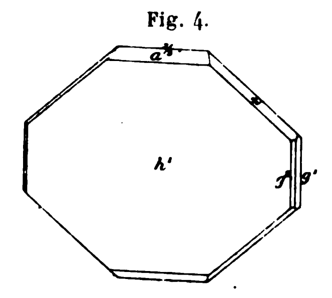
L'analyse des cristaux obtenus par précipitation lente a donné les nombres suivants qui conduisent à la formule $HSrPO^4$:

	Trouvé.	Calculé.
H^2O..................	4,95	4,90
SrO..................	55,92	56,17
P^2O^5..................	39,13 (par diff.)	38,93
	100,00	100,00

La densité des cristaux, déterminée avec 8g,73 de matière, a été trouvée égale à 3,544 à 15°. Le volume moléculaire est 51,8.

La monétite de strontium est en tables orthorhombiques aplaties suivant $h^1(100)$ (*fig.* 4). Les cristaux sont limpides. Ils atteignent 2mm,5 suivant l'axe *b*, 1mm,8 suivant l'axe *c* et 0mm,14 suivant l'axe *a*.

Fig. 4.



Sur les cristaux obtenus en tube scellé on observe les faces $h^1(100)$, dominante, et $z(133)$ et sur les cristaux obtenus par précipitation lente, en outre, $g^1(010)$, $g^2(130)$, $a^{\frac{1}{2}}(203)$ et parfois $g^5(230)$ (¹). Les faces donnent de bonnes images.

(¹) J'expliquerai plus loin les considérations qui m'ont déterminé à attribuer aux faces les symboles ci-dessus.

Le rapport des axes est

$$a:b:c = 0,6477:1:0,8581.$$

Angles des normales.

		Observé.	Calculé.
zh^1	(133)(100)..............	*71°.28'	
zz	(133)(13$\bar{3}$)..............	*92. 1	
zz	(133)(1$\bar{3}$3)..............	76.24	76°.16'
zg^1	(133)(010)..............	51.48	51.52
g^2h^1	(130)(100)..............	62.42	62.46
g^3h^1	(230)(100)..............	44.11	44.10
$a^{\frac{3}{2}}h^1$	(203)(100)..............	48.23	48.33

Sur h^1(100) et g^1(010) les extinctions sont longitudinales. Le plan des axes optiques est dans h^1(100).

Monétite arséniée de strontium. — J'ai décrit la préparation de ce composé dans la Note précédente en donnant le procédé d'obtention de la haidingérite de strontium (*voir* p. 106).

L'analyse des cristaux a fourni les nombres suivants qui conduisent à la formule $HSrAsO^4$:

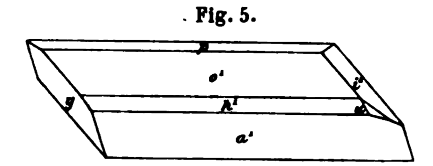
	Trouvé.	Calculé.
H^2O....	3,94	3,96
SrO..................	45,30	45,52
As^2O^5................	50,76 (par diff.)	50,52
	100,00	100,00

La densité des cristaux, déterminée avec 11g de matière, a été trouvée égale à 4,035 à 15°. Le volume moléculaire est 56,5.

La monétite arséniée de strontium est en prismes tricliniques allongés suivant l'axe *b* et le plus souvent un peu

aplatis suivant o^1(101) (*fig.* 5). Les cristaux sont brillants et

Fig. 5.



limpides. Ils atteignent $3^{mm},3$ de longueur, 1^{mm} de largeur et $0^{mm},5$ d'épaisseur.

On observe les faces $p(001)$, $h^1(100)$, $o^1(101)$, $a^1(\bar{1}01)$, $y(\bar{1}21)$, $i(011)$ et $u(321)$. Les faces donnent de bonnes images.

$$\alpha = 92^\circ.\ 4',$$
$$\beta = 86.32,$$
$$\gamma = 90.46.$$

Le rapport des axes est

$$a:b:c = 0,6466:1:0,8346.$$

Angles des normales.

		Observé.	Calculé.
ya^1	$(1\bar{2}\bar{1})(10\bar{1})$..............	*47°.43'	
a^1p	$(\bar{1}01)(001)$..............	*52.36	
po^1	(001)(101)............ .	*51.49	
py	$(001)(\bar{1}21)$..............	*66.49	
io^1	(011)(101)..............	*61. 5	
pi	(001)(011)..............	41.15	41°.16'
yh^1	$(1\bar{2}\bar{1})(100)$..............	57. 8	57.12
h^1o^1	(100)(101)..............	37.41	37.33½
uy	$(321)(\bar{1}21)$..............	97.31	97. 8
iu	(011)(321)..............	64. 8	64.16
ph^1	(001)(100)..............		89.22½
pg^1	(001)(010)..............		93.26
g^1h^1	(010)(100)..............		87.58

Je signalerai les zones

$\overline{o^1(101)\, i(011)\, y(\bar{1}21)}$, $\overline{h^1(100)\, u(321)\, y(\bar{1}21)}$.

Sur $h^1(100)$ l'extinction se fait sous un angle de 14° environ avec l'arête $h^1o^1(100)(101)$ dans l'angle obtus β.

* * *

Si l'on traite, à chaud, de l'acide arsénique de densité 1,15 par du carbonate de calcium, jusqu'à ce qu'il se produise un léger précipité, et si l'on chauffe la liqueur filtrée en tube scellé, à 170°, pendant quelques heures, on obtient de petits cristaux tabulaires excessivement minces qui présentent la composition de la monétite arséniée de calcium, $HCaAsO^4$.

En substituant, dans cette expérience, le carbonate de baryum au carbonate de calcium, on obtient de même des cristaux en tables très minces qui ont la composition de la monétite arséniée de baryum, $HBaAsO^4$.

Jusqu'ici je n'ai pas réussi à obtenir ces composés en cristaux se prêtant aux mesures goniométriques.

* * *

En prenant les faces des cristaux les plus simples de monétite de baryum comme faces primitives on a, pour ce composé, le rapport des axes indiqué ci-dessus. Ces faces sont toujours les plus développées et, d'ailleurs, les seules qui ont pu être déterminées.

En choisissant par analogie pour la monétite et la monétite arséniée de plomb comme faces primitives celles qui sont les plus développées et qui, en outre, donnent pour γ la valeur la plus voisine de 90° [c'est-à-dire les faces $e^1(011)$ et $m(110)$], on déduit pour ces deux composés les rapports d'axes précédemment indiqués.

Considérant maintenant que les rapports des axes de ces trois monétites, qui se déduisent d'une façon très naturelle de leurs formes cristallines, sont assez voisins les uns des autres, j'ai cherché à établir pour les autres monétites des rapports des axes se rapprochant de ceux que j'avais fixés.

Pour la monétite arséniée de strontium on y parvient en choisissant la forme primitive comme je l'ai fait ci-dessus. Les angles des axes α, β et γ deviennent alors assez voisins de 90° et les symboles des faces dérivées sont simples.

La monétite de calcium que j'ai reproduite antérieurement [1] offrait les faces $g^1(010)$, dominante, $p(001)$, $h^1(100)$ $m(1\bar{1}0)$, $i(011)$, $o^1(101)$, $c^{\frac{1}{2}}(1\bar{1}\bar{1})$ et $x(2\bar{1}\bar{1})$. On avait

$$\alpha = 96°40', \qquad \beta = 88°44', \qquad \gamma = 103°48'$$

et le rapport des axes

$$a:b:c = 1{,}049:1:1{,}044.$$

En donnant maintenant aux faces de la monétite de calcium les symboles des faces correspondantes de la monétite arséniée de strontium, qui lui est très voisine,

$o^1(101)$	devient	$h^1(100)$,
$p\ (001)$	»	$o^1(101)$,
$h^1(100)$	»	$a^1(10\bar{1})$,
$c^{\frac{1}{2}}(\bar{1}11)$	»	$i\ (011)$,
$i\ (011)$	»	$x\ (121)$,
$m(1\bar{1}0)$	»	$y\ (1\bar{2}\bar{1})$,
$x\ (\bar{2}11)$	»	$z\ (\bar{1}23)$

et $g^1(010)$ reste $g^1(010)$. On a alors

$$\alpha = 94°22', \qquad \beta = 84°57', \qquad \gamma = 90°17'$$

(1) *Loc. cit.*

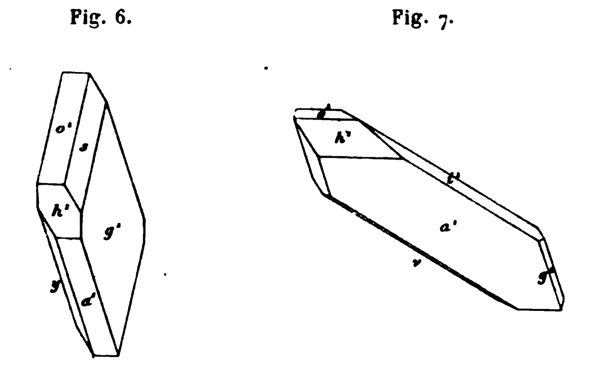
et le rapport des axes

$$a:b:c = 0{,}6467:1:0{,}8244.$$

Par ce changement de symboles l'angle γ devient, comme on le voit, plus voisin de 90° et les paramètres se rapprochent des paramètres des autres monétites.

Les figures ci-dessous donnent la position nouvelle des cristaux de monétite de calcium : (*fig.* 6) les cristaux obtenus au moyen du procédé de cristallisation par précipitation lente, (*fig.* 7) les cristaux obtenus en tube scellé ([1]).

Fig. 6. Fig. 7.



Pour mettre l'axe *a* de la monétite de strontium en accord avec les axes *a* des autres monétites on est obligé de donner à la pyramide *z* le symbole (133) au lieu de (111). Cet axe devient alors, comme on le voit, très voisin de l'axe *a* de la monétite de calcium.

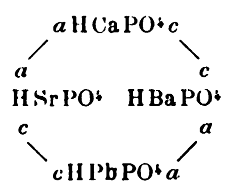
Je donne ci-dessous un apercu des constantes cristallogra-

([1]) *Loc. cit.*

phiques et des volumes moléculaires des différentes monétites :

	α.	β.	γ.	a:b:c.	Volume moléculaire.
$HCaPO^4$ (triclinique)	94°.22'	84°.57'	90°.17'	0,6467:1:0,8244	46,5
$HSrPO^4$ (orthorhomb.)	90	90	90	0,6477:1:0,8581	51,8
$HPbPO^4$ (monocl.)	90	90	82.20	0,7096:1:0,8715	53,5
$HBaPO^4$ (orthorhomb.)	90	90	90	0,7133:1:0,8117	56,1
$HSrAsO^4$ (triclinique)	92. 4	86.32	90.46	0,6466:1:0,8346	56,5
$HPbAsO^4$ (monocl.)	90	90	84.23	0,7212:1:0,8704	57,1

En considérant les monétites phosphorées on voit que la monétite de calcium se rapproche le plus de la monétite de strontium par l'axe *a*, celle-ci de la monétite de plomb par l'axe *c*, celle-ci de la monétite de baryum par l'axe *a* et celle-ci, enfin, de la monétite de calcium par l'axe *c*, ainsi que le représente le schéma ci-dessous :



Les volumes moléculaires vont en augmentant depuis la monétite de calcium jusqu'à la monétite de baryum dans l'ordre donné par le schéma.

La monétite arséniée de strontium est très voisine des

monétites de calcium et de strontium. La monétite arséniée de plomb se rapproche de la monétite de plomb.

(*Travail fait au Laboratoire d'Enseignement pratique de Chimie générale à la Sorbonne.*)

Production artificielle de la huréaulite et de la huréaulite de cadmium;

Par M. A. de Schulten.

MM. Erlenmeyer et Heinrich ([1]) ont préparé à l'état cristallisé le phosphate de manganèse $5MnO, 2P^2O^5, 5H^2O$ ou $H^2Mn^5(PO^4)^4 + 4H^2O$ qui constitue la huréaulite. Haushofer ([1]) a mesuré les cristaux et bien que ces mesures, d'après l'auteur, ne soient qu'approximatives, il est évident que les cristaux sont bien identiques à la huréaulite.

J'ai préparé la huréaulite par le procédé de cristallisation que j'ai fait connaître précédemment ([2]). On dissout du carbonate de manganèse jusqu'à saturation dans 250^{cm^3} d'acide phosphorique de densité 1,10 chauffés au bain-marie. On chauffe la liqueur filtrée dans un ballon au bain-marie et l'on y fait tomber très lentement, goutte à goutte, de l'ammoniaque à 0,3 pour 100. Au bout de 8 jours on recueille environ 18^g de huréaulite bien cristallisée. La quantité d'ammoniaque employée est d'environ $1^l,500$.

L'analyse des cristaux a donné les nombres suivants qui

([1]) *Annalen d. Chemie u. Pharm.*, t. CLXXXX, 1878, p. 201.
([2]) *Comptes rendus*, t. CXXXVI, 1903, p. 1444.

conduisent à la formule $H^2Mn^5(PO^4)^4 + 4H^2O$:

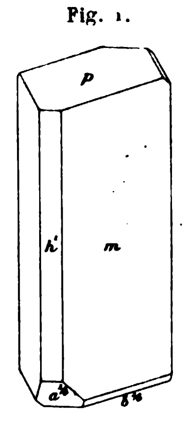
	Trouvé.		Calculé.
H^2O............	12,35		12,35
MnO............	48,90		48,69
P^2O^5...........	38,75	(par diff.)	38,96
	100,00		100,00

Le manganèse à été dosé comme pyrophosphate ([1]).

La densité des cristaux, déterminée avec 8g,80 de matière, a été trouvée égale à 3,175 à 15°. Le volume moléculaire est 23,0. La densité de la huréaulite naturelle de Brancheville est 3,149 (E.-S. Dana).

La huréaulite artificielle est en prismes monocliniques (*fig.* 1), brillants et limpides, d'une teinte rose claire. Ils

Fig. 1.



atteignent 1^{mm} suivant l'axe *c*, $0^{mm},6$ suivant l'axe *a* et $0^{mm},4$ suivant l'axe *b*. Les reflets, surtout ceux des faces du prisme, sont souvent multiples.

([1]) F.-A. Gooch et Martha Austin, *Chem. Centralblatt*, t. I, p. 378, 1899.

On observe les faces $m(110)$, $h^1(100)$, $p(001)$, $a^{\frac{1}{4}}(\bar{4}01)$ et, parfois $b^{\frac{1}{4}}(\bar{2}21)$, étroite. Les cristaux examinés par Haushofer offrent les mêmes faces, excepté $b^{\frac{1}{4}}(\bar{2}21)$. Les faces $m(110)$ sont striées verticalement.

$$\gamma = 96°28'.$$

Le rapport des axes est

$$a : b : c = 1,9048 : 1 : 0,5189.$$

Angles des normales.

	Observé.	Calculé.
$h^1 m(100)(110)$	*62° 9′	
$a^{\frac{1}{4}} m(\bar{4}01)(\bar{1}10)$	*70.53	
$ph^1(001)(100)$	*83.32	
$a^{\frac{1}{4}} p(\bar{4}01)(001)$	50.53	50°59′
$a^{\frac{1}{4}} h^1(\bar{4}01)(\bar{1}00)$	45.17 (moy.)	45.29
$b^{\frac{1}{4}} a^{\frac{1}{4}}(\bar{2}21)(\bar{4}01)$	48. 0 (appr.)	47.27
$b^{\frac{1}{4}} m(\bar{2}21)(\bar{1}10)$	41.30 (appr.)	41.54

Je mentionnerai les zones suivantes que j'ai observées :

$$h^1(100)\,p(001)\,a^{\frac{1}{4}}(\bar{4}01),$$

$$m(\bar{1}10)\,b^{\frac{1}{4}}(\bar{2}21)\,p(001),$$

$$a^{\frac{1}{4}}(\bar{4}01)\,b^{\frac{1}{4}}(\bar{2}21)\,m(110).$$

Haushofer [1] en donnant à la face $a^{\frac{1}{4}}(\bar{4}01)$ le symbole $a^1(\bar{1}01)$

---

[1] *Loc. cit.*

trouve le rapport des axes $a:b.c=1{,}9927:1:1{,}7122$ pour les cristaux qu'il a mesurés. Or, en refaisant le calcul du rapport des axes d'après les angles fondamentaux donnés par Haushofer, je trouve pour ses cristaux

$$a:b:c=1{,}9927:1:2{,}0609.$$

En prenant la face $a^1(\bar{1}01)$ (¹) pour $a^{\frac{1}{4}}(\bar{4}01)$, on a alors

	$a:b:c.$	$\gamma.$
Cristaux de Haushofer...........	1,9927 : 1 : 0,5152	97°.34′
Mes cristaux....................	1,9048 : 1 : 0,5189	96.28
Cristaux naturels (E.-S. Dana)...	1,9192 : 1 : 0,5245	95.56

Je ferai remarquer que les cristaux de huréaulite de Brancheville mesurés par M. Dana contiennent 4,56 pour 100 d'oxyde ferreux. Les cristaux que j'ai préparés ne contiennent qu'une trace de fer.

La huréaulite artificielle est négative comme le minéral naturel. Quand on observe un cristal dans la direction perpendiculaire à $g^1(010)$ au microscope, en lumière polarisée parallèle, entre des nicols croisés, on voit que l'extinction se fait sous un angle de 25° environ avec l'axe c dans l'angle aigu $ph^1(001)(\bar{1}00)$. Le plan des axes optiques est perpendiculaire à $g^1(010)$ comme dans les cristaux naturels.

Dans un Mémoire sur les phosphates et les arséniates de cadmium (²) j'avais montré qu'on obtient des cristaux microsco-

---

(¹) Il y aurait peut être lieu de conserver à cette face le symbole $a^1(\bar{1}01)$, vu que les cristaux les plus simples de huréaulite, qui prennent naissance et dans la préparation de ce minéral par MM. Erlenmeyer et Heinrich et dans la mienne, ne présentent que la face en question avec $p(001)$ et $m(110)$.

(²) *Bull. Soc. Chim.*, (3), t. I, 1889, p. 472.

piques du phosphate

$$5\,CdO, 2\,P^2O^5, 5\,H^2O \quad \text{ou} \quad H^2Cd^5(PO^4)^4 + 4\,H^2O$$

en précipitant une solution de chlorure de cadmium, à chaud, par le phosphate disodique. Pour obtenir des cristaux plus purs on dissout les cristaux précédents dans l'acide phosphorique étendu et l'on précipite la solution à chaud, par la soude ou l'ammoniaque étendue. Les mêmes cristaux s'obtiennent si l'on chauffe au bain-marie ou en tube scellé à 250° une solution saturée à froid du phosphate $5\,CdO, 2\,P^2O^5, 5\,H^2O$ dans l'acide phosphorique de densité 1,10.

Les résultats des analyses ([1]) des cristaux provenant de ces diverses préparations conduisent bien à la formule donnée ci-dessus.

La composition des cristaux en question correspondant à celle de la huréaulite j'ai tenu à rechercher s'ils sont isomorphes avec ce minéral.

Pour obtenir des cristaux d'assez grandes dimensions j'ai appliqué mon procédé de cristallisation à la préparation de ce composé par l'action de l'ammoniaque sur une solution acide de phosphate de cadmium. Je fais dissoudre du carbonate de cadmium dans 250^{cm^3} d'acide phosphorique de densité 1,10, à chaud, jusqu'à ce qu'il se produise un léger précipité de phosphate de cadmium. Je chauffe la liqueur dans un ballon au bain-marie et j'y fais tomber très lentement, goutte à goutte, de l'ammoniaque à 0,3 pour 100. Au bout de 48 heures il s'est formé un dépôt d'environ 8^g de cristaux mesurables du phosphate $H^2Cd^5(PO^4)^4 + 4H^2O$ (teneur en eau trouvée 8,83 pour 100, calculée 8,88). La quantité d'ammoniaque employée a été 500^{cm^3} environ.

([1]) Dans les résultats de la première analyse du Mémoire, à la page 473, il y a, par erreur, P^2O^5 trouvé 41,40 pour 100; *lire* 31,40.

La densité des cristaux, déterminée avec 8g,20 de matière, a été trouvée égale à 4,161 à 15°. Pour les cristaux microscopiques préparés précédemment j'avais trouvé des densités variant de 3,96 à 4,15 [1].

Le volume moléculaire est 24,4. Il est donc assez voisin de celui de la huréaulite de manganèse (23,0).

Les cristaux affectent la forme de prismes monocliniques (*fig.* 2), incolores, brillants et limpides. Ils atteignent $1^{mm},8$ suivant l'axe *c*, $0^{mm},6$ suivant l'axe *b*, $0^{mm},3$ suivant l'axe *a*.

On observe les faces $h^1(100)$, $m(110)$, $p(001)$, $b^{\frac{1}{2}}(\bar{2}21)$. Les faces, excepté $p(001)$, donnent de bonnes images. Les faces $m(110)$ ne sont pas striées.

$$\gamma = 96°.44'.$$

Le rapport des axes est

$$a : b : c = 1,8965 : 1 : 0,5159.$$

Angles des normales.

	Observé.	Calculé.
$h^1 m(100)(110)$	*62°. 2'	
$h^1 b^{\frac{1}{2}}(\bar{1}00(\bar{2}21)$	*73.21	
$b^{\frac{1}{2}} b^{\frac{1}{2}}(\bar{2}21)(\bar{2}\bar{2}1)$	*86.58	
$b^{\frac{1}{2}} m(\bar{2}21)(\bar{1}10)$	42. 6	42°. 7'
$b^{\frac{1}{2}} p(\bar{2}21)(001)$	51. 0 [2]	51. 1
$ph^1(001)(100)$	83.27	83.16

Les cristaux sont donc parfaitement isomorphes avec la huréaulite.

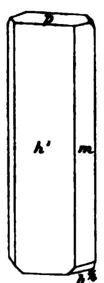
---

[1] *Loc. cit.*

[2] Moyenne de 5 observations variant de 50°18' à 51°34'.

La huréaulite de cadmium est négative. Quand on observe un cristal dans la direction perpendiculaire à g^1(010) au microscope, en lumière polarisée parallèle, entre des nicols

Fig. 2.



croisés, on voit que l'extinction se fait sous un angle de 8° environ avec l'axe *c* dans l'angle aigu ph^1 (001)($\bar{1}$00) (¹). Sur h^1 (100) l'extinction est longitudinale. Le plan des axes optiques est perpendiculaire à g^1(010).

(*Travail fait au Laboratoire d'Enseignement pratique de Chimie générale à la Sorbonne.*)

Production artificielle par voie humide des chromates anhydres cristallisés de baryum, de plomb et de strontium;

Par M. A. de Schulten.

Manross (²) a le premier obtenu la crocoïse par fusion du chlorure de plomb avec du chromate de potassium. Par appli-

(¹) Les cristaux microscopiques obtenus antérieurement offraient des extinctions longitudinales. Étant un peu aplatis suivant h^1(100) les cristaux reposent le plus souvent sur cette face.

(²) L. Bourgeois, *Reproduction artificielle des minéraux*. Paris, 1884.

cation de ce procédé, M. L. Bourgeois a obtenu des chromates de baryum et de strontium en prismes orthorhombiques isomorphes entre eux et avec les sulfates correspondants [1].

La crocoïse a, en outre, été préparée par Drevermann [1] au moyen de la méthode de réaction lente par diffusion. La crocoïse artificielle obtenue par ce procédé présentait les faces m, $b^{\frac{1}{2}}$, $d^{\frac{1}{2}}$, parfois g^1 et d^x. Plus tard, M. L. Bourgeois [2] a obtenu des cristaux mesurables de crocoïse, présentant les faces m, e^1 et parfois g^1, en faisant refroidir une solution bouillante de chromate de plomb dans l'acide azotique ou en la chauffant en tube scellé à 150°.

J'ai appliqué avec succès le procédé de cristallisation, que j'ai fait connaître précédemment [3], à la production de ces trois chromates en cristaux mesurables.

Pour préparer le chromate de baryum on dissout 20^g de nitrate de baryum dans 1^l d'eau, on ajoute 10^{cm^3} d'acide azotique de densité 1,2, on chauffe la liqueur dans un ballon au bain-marie et l'on y fait tomber lentement, goutte à goutte, 2^l d'une solution de 5^g de bichromate de potassium par litre. L'opération dure une douzaine de jours.

La crocoïse se prépare de la façon suivante. On dissout 20^g de nitrate de plomb dans $0^l,500$ d'eau, on ajoute $0^l,500$ d'acide azotique concentré, on chauffe la liqueur dans un ballon au bain-marie et l'on y fait tomber goutte à goutte 2^l d'une solution de 4^g de bichromate de potassium par litre. Au commencement on peut laisser tomber les gouttes assez vite, car les premiers cristaux n'apparaissent qu'après l'introduction d'environ 1^l de la solution de bichromate de potassium. Plus tard on règle l'écoulement à 5 à 6 gouttes par minute. Au bout de 8 jours on recueille environ 11^g de crocoïse bien cristallisée.

---

(1) L. Bourgeois, *loc. cit.*

(2) *Bull. Soc. de Min.*, t. X, 1887, p. 187.

(3) *Comptes rendus* t. CXXXVI, 1903, p. 1444.

Le chromate de strontium s'obtient plus difficilement en cristaux mesurables, bien qu'il soit beaucoup plus soluble que les chromates de baryum et de plomb. Le meilleur résultat a été obtenu en opérant en solution concentrée et en présence d'un excès de bichromate de potassium. Je dissous 25g du sel $Sr(AzO^3)^2 + 4H^2O$ et 30g de bichromate de potassium dans 100cm³ d'eau; je chauffe la liqueur dans un petit ballon au bain-marie et j'y fais tomber très lentement, goutte à goutte, de l'ammoniaque à 0,3 pour 100. On maintient le volume de la liqueur dans le ballon entre 100cm³ et 200cm³ pendant toute l'opération. Au bout de 30 jours on recueille des cristaux mesurables de chromate de strontium.

Chauffé au rouge le chromate de baryum cristallisé n'a perdu que 0,06 pour 100.

L'analyse du chromate de strontium a donné les nombres suivants qui conduisent à la formule $SrCrO^4$:

	Trouvé.	Calculé.
CrO^3	49,28	49,14
SrO (par différence)	50,65	50,86
Perte au rouge	0,07	
	100,00	100,00

Le chromate de baryum est en tables orthorhombiques brillantes, limpides (*fig.* 1), d'une teinte jaune claire. Chauffées au rouge elles prennent une teinte rouge orangé et redeviennent jaunes par le refroidissement. Les faces donnent de bons reflets.

Les cristaux atteignent 1mm,2 suivant l'axe *c*, 0mm,6 suivant l'axe *b* et 0mm,07 suivant l'axe *a*.

On observe les faces $h^1(100)$, $m(110)$, $e^1(011)$, $x(122)$, $y(4.5.10)$ très réduite et parfois $z(233)$.

Le rapport des axes est

$$a : b : c = 0,8038 : 1 : 1,2149.$$

Angles des normales.

	Observé.	Calculé.
mm (110)($1\bar{1}0$).............	* 77°35′	
$e^1 e^1$(011)($0\bar{1}1$).............	*101. 5	
$e^1 m$(011)(110).............	61.10	61°. 4′
$e^1 m$(011)($\bar{1}10$)..............	61.10	61. 4
xx(122)($\bar{1}22$)...............	51.16	51.18
ze^1(233)(011)...............	32.53	32.38
ym(4.5.10)(110)...........	49.49	49.42
yx (4.5.10)(122)............	17. 8	17.19

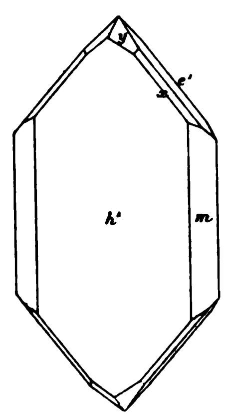
Il y a lieu de signaler les zones suivantes :

$\overline{h^1(100)\, x(122)\, e^1(011)}$, $\overline{h^1(100)\, z(233)\, e^1(011)}$.

Sur h^1(100) l'extinction est longitudinale. Le plan des axes optiques est dans h'(100).

La densité des cristaux, déterminée avec 4g,23 de matière,

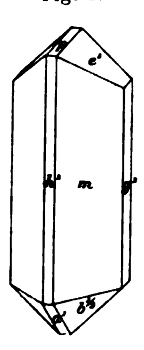
Fig. 1.



a été trouvée égale à 4,498 à 15°. Le volume moléculaire est 56,4.

La crocoïse artificielle (*fig.* 2) est en prismes monocliniques très brillants, limpides, d'une teinte jaune foncée pour les petits cristaux, jaune rougeâtre pour les cristaux plus épais. Chauffés au rouge les cristaux prennent momentanément

Fig. 2.



une teinte rouge orangé foncée. Les reflets sont très bons.

Les cristaux atteignent $1^{mm},2$ suivant l'axe *c* et $0^{mm},4$ suivant les axes *a* et *b*. Bien que les cristaux n'aient pas de grandes dimensions ils sont remarquables par le nombre des facettes.

On observe les faces $p(001)$, $h^1(100)$, $g^1(010)$, $m(110)$, $e^1(011)$, $e^{\frac{1}{2}}(021)$, $e^2(012)$, rare, $b^{\frac{1}{2}}(\bar{1}11)$, $b^1(\bar{1}12)$, $a^1(\bar{1}01)$, $d^{\frac{1}{2}}(111)$, rare. Les faces $m(110)$ sont striées verticalement.

Angles des normales.

	Observé.	Cristaux naturels.
$ph^1(001)(100)$	77°.33'	77°.32'.50"
$mm(110)(1\bar{1}0)$	86.20	86.19
$pg^1(001)(010)$	89.59	90. 0
$pm(001)(\bar{1}10)$	99.10	99. 3
$e^{\frac{1}{2}}g^1(021)(010)$	29.11	29.12.30

	Observé.	Cristaux naturels.
	° ′	° ′
$e^2e^2(012(0\bar{1}2)$..............	48.14	48.11
$pa^1(001)(\bar{1}01)$.............	49.38	49.32
$b^{\frac{1}{2}}m(\bar{1}11)(\bar{1}10)$............	40.43	40.39
$b^{\frac{1}{2}}b^1(\bar{1}11)(\bar{1}12)$............	22.36	22.40
$d^{\frac{1}{2}}(111)(001)$..............	46.40	46.58

L'angle e^1e^1 (011) ($0\bar{1}1$) a été trouvé très variable.

Je mentionnerai les zones suivantes que j'ai observées :

$m(110)\, e^1(011)\, a^1(\bar{1}01)\, b^1(\bar{1}12)$, $g^1(010)\, e^{\frac{1}{2}}(021)\, e^1(011)\, p(001)$,

$g^1(010)\, e^1(011)\, e^2(012)\, p(001)$, $m(110)\, d^{\frac{1}{2}}(111) p(001)$,

$h^1(100)\, d^{\frac{1}{2}}(111)\, e^1(011)$, $m(\bar{1}10)\, b^{\frac{1}{2}}(\bar{1}11)\, b^1(\bar{1}12)\, p(001)$,

$h^1(100)\, p(001)\, a^1(\bar{1}01)$.

Sur g^1 (010) l'extinction se fait sous un angle de 6° environ avec l'axe *c* dans l'angle obtus ph^1 (001) (100).

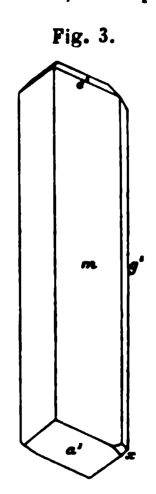
La densité des cristaux, déterminée avec 9g,63 de matière, a été trouvée égale à 6,123 à 15°; le volume moléculaire est 52,8. Pour la densité de la crocoïse artificielle obtenue par voie sèche, Manross avait trouvé le nombre 6,118.

Le chromate de strontium anhydre (*fig.* 3) est en prismes monocliniques, brillants, limpides, d'une teinte jaune. Chauffés au rouge ils prennent transitoirement, comme les chromates de baryum et de plomb, une teinte rouge orangé.

Les cristaux atteignent 1mm de longueur et 0mm,27 d'épaisseur.

On observe les faces : $m(110)$, $a^1(\bar{1}01)$, $e^1(011)$, $x(\bar{3}43)$ et $g^1(010)$, rare. Les faces, excepté $x(\bar{3}43)$, donnent de

Fig. 3.



bonnes images. Les faces $m(110)$ sont striées verticalement comme sur la crocoïse

$$\gamma = 77°17'.$$

Le rapport des axes est

$$a : b : c = 0,96662 : 1 : 0,91732.$$

Angles des normales.

	Observé.	Calculé.
$mm\ (110)(1\bar{1}0)$	*86°.38′	
$ma^1\ (\bar{1}10)(\bar{1}01)$	*64.11	
$a^1e^1\ (\bar{1}01)(011)$	*61. 3	
$e^1e^1\ (011)(0\bar{1}1)$	83.37	83°.40′
$g^1m\ (010)(110)$	46.40	46.41
$x^1a^1\ (\bar{3}43)(\bar{1}01)$	45.30	45.35
$xm\ (\bar{3}43)(110)$	79. 8	79.20

Sur g^1(010) l'extinction se fait sous un angle de 6° environ avec l'axe *c* dans l'angle aigu ph^1(001)($\bar{1}$00).

La densité des cristaux, déterminée avec 6g,10 de matière, a été trouvée égale à 3,895 à 15°. Le volume moléculaire est 52,3.

.˙.

Je donne ci-dessous un Tableau comprenant les volumes moléculaires et les constantes cristallographiques des chromates que je viens d'étudier et des sulfates correspondants. Les volumes moléculaires ont été déduits des densités que j'ai déterminées et pour les chromates et pour les sulfates ([1]). Les constantes cristallographiques des sulfates et de la crocoïse sont celles des minéraux naturels.

	$a:b:c$.	γ.	Volume moléculaire.	Diff.
$BaSO^4$...	0,81520:1:1,31359	90°	51,9	
				4,5
$PbSO^4$...	0,78516:1:1,28939	90	47,4	
				1,5
$SrSO^4$...	0,77895:1:1,28005	90	45,9	
$BaCrO^4$..	0,8038 :1:1,2149	90	56,4	
				3,6
$PbCrO^4$..	0,96034:1:0,91586	77.32.50"	52,8	
				0,5
$SrCrO^4$...	0,96662:1:0,91732	77.17	52,3	

On voit que le sulfate de strontium se rapproche bien plus du sulfate de plomb que du sulfate de baryum. Le chromate de strontium est très voisin du chromate de plomb et ne présente pas d'analogie avec le chromate de baryum. Ce dernier sel se rapproche assez du sulfate de baryum, surtout par la valeur de l'axe *a*.

Les volumes moléculaires des sulfate et chromate de plomb sont intermédiaires entre ceux des sels de baryum et de

(1) *Bull. Soc. Min.*, t. XXVI, 1903, p. 103.

strontium. Le volume moléculaire du sulfate de strontium est assez voisin de celui du sulfate de plomb; le volume moléculaire du chromate de strontium est très voisin de celui du chromate de plomb.

(*Travail fait au Laboratoire d'Enseignement pratique de Chimie générale à la Sorbonne.*)

Sur les iodates de cuivre;

Par MM. A. Granger et A. de Schulten.

Les iodates de cuivre ont été étudiés par Millon ([1]), Rammelsberg ([2]) et dernièrement par M. A. Ditte ([3]).

Millon, en traitant de l'oxyde de cuivre par l'acide iodique, a obtenu un corps qui présentait la composition donnée par la formule $6CuO,3I^2O^5,2H^2O$.

Le sel CuO,I^2O^5,H^2O a été obtenu par Rammelsberg et par Millon qui le préparait en versant une solution de sulfate ou de nitrate de cuivre dans l'acide iodique. Préparé de cette manière le sel se présente en petits grains bleu pâle. Ce corps a été obtenu à l'état cristallisé par M. Ditte au moyen d'un procédé que nous décrirons ci-dessous.

M. Ditte a trouvé qu'en mélangeant avec de l'iodate de sodium une dissolution concentrée et bouillante de nitrate de cuivre, contenant environ le tiers de son volume d'acide azotique, et en maintenant la liqueur entre 70° et 80°, elle laisse déposer de petits cristaux bleu pâle, très brillants, de l'iodate anhydre, CuO, I^2O^5.

([1]) *Ann. Chim.* (3), t. IX, 1843, p. 400.
([2]) *Poggendorff's Annalen*, t. XLIV, p. 569.
([3]) *Ann. Chim.* (6), t. XXI, 1890, p. 173.

M. Ditte a aussi constaté que, lorsqu'on mélange des dissolutions concentrées et chaudes d'un iodate alcalin ou d'acide iodique avec un sel de cuivre, le précipité cristallin bleu pâle qui se produit présente la même composition que les cristaux précédents.

Le même savant a encore trouvé que si la liqueur, dans laquelle se forme l'iodate de cuivre, est moins concentrée, contient moins d'acide azotique et si la cristallisation s'effectue entre 40° et 50°, le sel qui se dépose a tout à fait l'aspect des cristaux d'iodate anhydre, sauf la couleur qui, dans ce cas, est vert clair. Ces cristaux ont la composition donnée par la formule CuO, I^2O^5, H^2O.

Nous nous sommes proposé de préparer les iodates de cuivre en cristaux déterminables.

Sel $2CuO, I^2O^5, H^2O$. — Nous avons obtenu ce composé en cristaux mesurables par l'application du procédé de cristallisation que l'un de nous a fait connaître précédemment [1]. On dissout 20g du sel $CuSO^4 + 5H^2O$ dans 2l d'eau, on ajoute deux gouttelettes d'acide sulfurique de densité 1,2 ; on chauffe la liqueur dans un ballon au bain-marie et l'on y fait tomber lentement, goutte à goutte, 3l d'une solution de 5g d'iodate de potassium par litre. Au commencement on laisse tomber les gouttes assez vite, car les premiers cristaux n'apparaissent au fond du ballon qu'après l'introduction d'environ 1l de la solution d'iodate de potassium. Au bout de 12 jours on recueille de beaux cristaux du composé en question. Le volume de la liqueur dans le ballon après l'opération est d'environ 3l.

L'analyse des cristaux a donné les nombres suivants qui conduisent à la formule $2CuO, I^2O^5, H^2O$ ou $Cu(IO^3)^2, Cu(OH)^2$

(1) *Comptes rendus*, t. CXXXVI, 1903, p. 1444.

ou simplement $Cu.IO^3.OH$:

	Trouvé.	Calculé.
CuO	31,28	31,16
I^2O^5	65,00	65,31
H^2O	3,72 (par diff.)	3,53
	100,00	100,00

Les cristaux peuvent être chauffés à 290° sans éprouver aucune perte. Chauffés au-dessus de cette température ils se décomposent en dégageant d'abord de l'eau, puis des vapeurs d'iode et de l'oxygène.

Les cristaux se dissolvent lentement dans l'acide sulfurique étendu, à chaud.

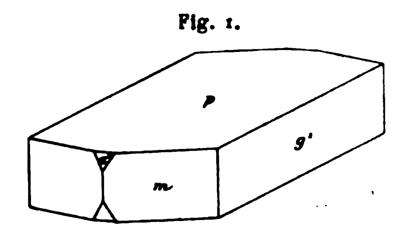
La densité des cristaux, déterminée avec 3^g de matière, a été trouvée égale à 4,878 à 15°.

Les cristaux sont très brillants et limpides. La couleur est vert foncé.

Ils appartiennent au système orthorhombique. Les plus grands cristaux atteignent $1^{mm},2$ suivant l'axe *a*, $0^{mm},6$ suivant l'axe *b* et $0^{mm},5$ suivant l'axe *c*.

On observe les faces $p(001)$, $g^1(010)$, $m(110)$ et $a^1(101)$, très réduite (*fig.* 1). Les reflets de $m(110)$ et $a^1(101)$ sont

Fig. 1.



bons. La face $g^1(010)$ est courbe; $p(001)$ n'est pas plane non plus.

Le rapport des axes est

$$a:b:c = 0,7124:1:1,7073.$$

Angles des normales.

	Observé:
$mm(110)(1\bar{1}0)$	*70°56′
$ma^1(110)(101)$	*41°16′

Sur $p(001)$ l'extinction est diagonale, sur $g^1(010)$ elle est longitudinale. Le plan des axes optiques est perpendiculaire à $h^1(100)$.

Il y a un clivage suivant $h^1(100)$.

Sel CuO, I^2O^5, H^2O. — Nous préparons ce composé de la manière suivante :

On dissout 30g de nitrate de cuivre cristallisé dans 100cm³ d'eau, on ajoute 50cm³ d'acide azotique de densité 1,33, on chauffe la liqueur dans un ballon au bain-marie et l'on y fait tomber lentement, goutte à goutte, 2l d'une solution de 10g d'iodate de potassium par litre. Les premiers cristaux apparaissent après l'introduction dans le ballon d'environ 1l de la solution d'iodate de potassium. Au bout de 6 jours nous avons recueilli 11g de beaux cristaux du sel en question. Le volume de la liqueur dans le ballon après l'opération était d'environ 1l,500.

Dans l'expérience que nous venons de décrire la température de la liqueur était d'environ 90°. Si l'on opère à 30° - 35° seulement, on obtient toujours le même composé mais en cristaux plus petits.

L'analyse des cristaux a fourni les nombres suivants qui conduisent à la formule CuO, I^2O^5, H^2O ou $Cu(IO^3)^2 + H^2O$:

	Trouvé.		Calculé.
CuO	18,37		18,45
I^2O^5	77,59		77,37
H^2O	4,04	(par diff.)	4,18
	100,00		100,00

Si l'on chauffe les cristaux ils se décomposent comme le sel précédent mais à une température moins élevée.

Les cristaux se dissolvent lentement dans l'acide sulfurique étendu, à chaud.

La densité des cristaux, déterminée avec 1g de matière, a été trouvée égale à 4,876 à 15°. Elle est donc presque identique à celle du composé précédent.

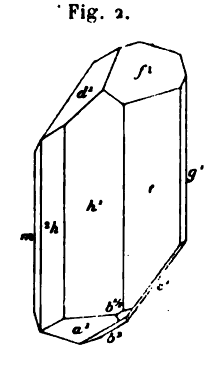
Les cristaux sont très brillants et limpides. La couleur est bleu clair tirant sur le vert.

Ils cristallisent dans le système triclinique. Les dimensions des plus grands cristaux sont 3mm suivant l'axe *c*, 2mm suivant l'axe *b* et 1mm suivant l'axe *a*.

Les faces donnent de bonnes images.

On observe les faces $h^1(100)$, $t(110)$, $m(1\bar{1}0)$, $f^1(112)$, $d^1(1\bar{1}2)$, $b^1(11\bar{2})$, $c^1(1\bar{1}\bar{2})$, $a^1(\bar{1}01)$, $e^1(0\bar{1}1)$, ${}^2h(3\bar{1}0)$, $g^2(\bar{1}\bar{3}0)$, $g^1(010)$, $b^{\frac{1}{2}}(11\bar{1})$, $b^2(11\bar{4})$ (*fig.* 2). Les faces $b^1(11\bar{2})$, $c^1(1\bar{1}\bar{2})$ et $g^2(\bar{1}\bar{3}0)$ qui le plus souvent sont très réduites ont été

Fig. 2.



omises sur la figure:

$$\alpha = 91°.\ 6',$$
$$\beta = 82.38,$$
$$\gamma = 95.\ 0.$$

Le rapport des axes est

$$a : b : c = 1,2898 : 1 : 1,5188.$$

Angles des normales.

		Observé.	Calculé.
$h^1 g^1$	$(100)(010)$	*89°.26′	
$h^1 e^1$	$(\bar{1}00)(0\bar{1}1)$	*92. 6	
$g^1 e^1$	$(0\bar{1}0)(0\bar{1}1)$	*31.10	
$g^1 a^1$	$(0\bar{1}0)(\bar{1}01)$	*84.36	
$h^1 a^1$	$(\bar{1}00)(\bar{1}01)$	*42.37	
$a^1 e^1$	$(\bar{1}01)(0\bar{1}1)$	66.46	66°.54′
$m g^1$	$(1\bar{1}0)(0\bar{1}0)$	37.40	37.52
$h^1\, {}^2h$	$(\bar{1}00)(\bar{3}10)$	23.41	23.27
$a^1\, {}^2h$	$(\bar{1}01)(\bar{3}10)$	50. 3	50.10
$d^1 m$	$(1\bar{1}2)(1\bar{1}0)$	41.51	41.45
$d^1 b^2$	$(1\bar{1}2)(\bar{1}\bar{1}4)$	39.38	39.48
$d^1 c^1$	$(1\bar{1}2)(\bar{1}12)$	86.55	87. 7
$f^1 b^2$	$(112)(\bar{1}\bar{1}4)$	70.18	70.27
$t g^1$	$(110)(010)$		37.27
$p g^1$	$(001)(010)$		97.17
$p h^1$	$(001)(100)$		85. 7

Nous signalerons les zones suivantes que nous avons observées :

$t(110)d^1(1\bar{1}2)e^1(0\bar{1}1)$, ${}^2h(\bar{3}10)a^1(\bar{1}01)b^2(\bar{1}\bar{1}4)d^1(1\bar{1}2)$,

$g^1(010)f^1(112)d^1(1\bar{1}2)$, $t(110)f^1(112)b^2(\bar{1}\bar{1}4)b^{\frac{1}{2}}(\bar{1}\bar{1}1)$,

$m(1\bar{1}0)d^1(1\bar{1}2)c^1(\bar{1}12)$, $h^1(100)f^1(112)c^1(\bar{1}12)$,

$h^1(100)d^1(1\bar{1}2)b^1(\bar{1}\bar{1}2)$, $g^1(010)c^1(\bar{1}12)b^1(\bar{1}\bar{1}2)$,

$g^1(010)a^1(\bar{1}01)b^{\frac{1}{2}}(\bar{1}\bar{1}1)$, $g^1(010)e^1(0\bar{1}1)b^{\frac{1}{2}}(\bar{1}\bar{1}1)$,

$m(\bar{1}10)\,{}^2h(\bar{3}10)h^1(\bar{1}00)t(\bar{1}\bar{1}0)g^2(\bar{1}\bar{3}0)$, $g^2(\bar{1}\bar{3}0)e^1(0\bar{1}1)f^1(112)$.

Sur h^1(100) l'extinction se fait sous un angle de 48° avec l'arête h^1g^1(100)(010) dans l'angle obtus β ; sur g^1(010) elle se fait sous un angle de 28° avec la même arête dans l'angle obtus γ.

Sel CuO,I^2O^5. — Nous avons préparé ce composé par distillation, au bain-marie, d'une solution saturée du sel CuO,I^2O^5,H^2O dans l'acide azotique concentré (densité 1,33). En opérant sur 1^1 de solution on recueille, après distillation maintenue pendant quelques jours, un dépôt de cristaux mesurables d'iodate de cuivre neutre et anhydre.

Ces cristaux sont d'un vert très pâle. Si l'on continue la distillation pendant quelque temps après la formation de ces cristaux on voit apparaître des cristaux bleu clair du sel neutre hydraté. Ces derniers cristaux peuvent, d'ailleurs, être séparés par triage des cristaux d'iodate anhydre.

L'analyse des cristaux a donné les nombres suivants qui conduisent à la formule CuO, I^2O^5 ou $Cu(IO^3)^2$:

	Trouvé.	Calculé.
CuO	19,08	19,26
I^2O^5	80,53	80,74
	99,61	100,00

Si l'on chauffe les cristaux dans un tube de verre étroit on observe qu'ils se décomposent en émettant des vapeurs d'iode sans dégagement d'eau.

Abandonnés en contact avec de l'eau les cristaux ne s'hydratent que très lentement. Ce n'est qu'au bout de plusieurs jours que la teinte vert pâle des cristaux s'est changée en celle du composé hydraté.

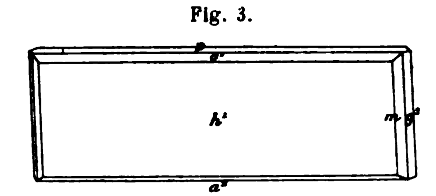
La densité des cristaux, déterminée avec 2^g de matière, a été trouvée égale à 5,241 à 15°.

Les cristaux sont brillants et transparents. Abandonnés à l'air ils deviennent ternes peu à peu.

L'iodate de cuivre anhydre est en tables monocliniques aplaties suivant h^1(100) et allongées suivant l'axe *b*. Elles atteignent 1mm,9 suivant l'axe *b*, 0mm,5 suivant l'axe *c* et 0mm,2 suivant l'axe *a*. Les reflets sont bons.

On observe les faces h^1(100), *p*(001), *m*(110), g^3(120), o^1(101), a^2($\bar{1}$02) et de petites faces d'une pyramide qui n'a pu être déterminée (*fig.* 3). Sur la figure ci-dessous la largeur

Fig. 3.



de a^2($\bar{1}$02) a été exagérée pour rendre le dessin plus distinct.

$$\gamma = 93°\,44'.$$

Le rapport des axes est

$$a : b : c = 0{,}87880 : 1 : 1{,}05196.$$

Angles des normales.

	Observé.	Calculé.
	° ′	
*ph*¹ (001)(100)..................	*84.16	
*a*²*h*¹ (10$\bar{2}$)(100)................	*63.23	
*mh*¹ (110)(100)..................	*41.10	° ′
*o*¹*h*¹ (101)(100)................	37.32	37.30
*g*³*h*¹ (120)(100)..................	60.15	60.14
*g*³*p* (120)(001)..................	87.16	87. 9

Sur h^1(100) et *p*(001) l'extinction est longitudinale. Sur des

lamelles de clivage suivant g^1 (010) l'extinction se fait sous un angle de 42° environ avec la trace de h^1 (100) dans l'angle aigu ph^1 (001)($\bar{1}$00). Le plan des axes optiques est dans h^1 (100).

* * *

Il ressort des expériences décrites ci-dessus que le sel $2CuO, I^2O^5, H^2O$ se forme par l'action de l'iodate de potassium sur une solution étendue et chaude d'un sel de cuivre, si la solution n'est que très faiblement acide, et que le sel CuO, I^2O^5, H^2O se produit si la solution contient une plus forte quantité d'acide libre.

La quantité d'acide libre nécessaire pour déterminer la formation du sel neutre n'est pas bien grande. En effet, si dans l'expérience qui fournit le sel $2CuO, I^2O^5, H^2O$ on ajoute à la liqueur 1^{cm^3} d'acide sulfurique de densité 1,2 au lieu de deux gouttelettes, on obtient simultanément le sel

$$2CuO, I^2O^5, H^2O$$

et le sel CuO, I^2O^5, H^2O, l'un et l'autre en cristaux facilement reconnaissables à l'œil nu. Si dans cette expérience on ajoute 2^{cm^3} d'acide sulfurique au lieu d'un et si l'on fait agir sur la solution cuivrique 3^l de solution d'iodate de potassium à 10^g par litre, on n'obtient plus qu'une très faible quantité du sel $2CuO, I^2O^5, H^2O$ mélangée au sel CuO, I^2O^5, H^2O.

D'autre part, en suivant le mode expérimental que nous avons indiqué, la production de l'iodate anhydre CuO, I^2O^5 demande la présence d'un grand excès d'acide azotique concentré et il suffit que cet acide soit légèrement étendu pour voir s'engendrer les sels CuO, I^2O^5 et CuO, I^2O^5, H^2O simultanément.

Ces faits montrent d'une façon frappante combien la produc-

tion de cristaux déterminables peut faciliter l'étude chimique des corps cristallisés.

(*Travail fait au Laboratoire d'Enseignement pratique de Chimie générale à la Sorbonne.*)

Étude cristallographique et optique du rhamnose;

Par M. H. Dufet.

Le rhamnose a été longtemps appelé *isodulcite* ou *rhamnodulcite*. Le premier nom doit être exclusivement adopté depuis que Rayman et Kruis [1] ont montré que ce n'était pas un alcool de formule $C^6O^6H^{14}$, mais un véritable sucre, un méthylpentose hydraté $C^5O^5H^9(CH^3)+H^2O$. Les remarquables phénomènes de polarisation rotatoire que présente le rhamnose, et qui seront étudiés dans le Mémoire suivant [2], ainsi que la beauté et la pureté des cristaux que j'avais à ma disposition, et qui m'ont été procurés par MM. Chenal et Douilhet, m'ont conduit à refaire une étude complète des propriétés cristallographiques et optiques de ce corps.

I. — Étude cristallographique.

Les cristaux de rhamnose sont clinorhombiques, très simples de forme, constitués par le prisme $m(110)$ dominant,

---

(1) Rayman et Kruis, *Bull. Soc. chim.*, 2e série, t. XLVIII, 1887, p. 632.
(2) *Voir* plus loin, p. 156.

avec la face $h^1(100)$, et terminés par le clinodome $e^1(011)$ avec les faces $p(001)$ et $a^1(10\bar{1})$, petites et manquant assez souvent. Dans les cristaux volumineux que j'ai étudiés, et qui ont été obtenus dans l'eau, il n'y a pas trace d'hémiédrie. Au contraire, de petits cristaux, obtenus dans l'alcool, étaient tous hémièdres, par suppression des faces e^1 placées à la droite de l'observateur, l'angle obtus $ph^1(001)(100)$ étant en avant et en haut, c'est-à-dire par la suppression des faces (011) et $(01\bar{1})$, et le développement considérable des faces $(0\bar{1}1)$ et $(0\bar{1}\bar{1})$. Ceci est bien d'accord avec les résultats obtenus antérieurement. M. Vrba (¹) n'a trouvé qu'un seul petit cristal hémièdre; M. Hirschwald (²) a trouvé une hémiédrie plus fréquente, avec beaucoup de cristaux d'apparence holoèdre et des passages des uns aux autres; Websky (³), sur des cristaux obtenus dans l'alcool, a observé constamment l'hémiédrie.

Les faces $a^1(10\bar{1})$ et $h^1(100)$ sont des plans de clivage; Vrba et Hirschwald les appellent des *clivages parfaits,* tandis que je n'ai obtenu que des clivages assez médiocres et interrompus. Websky dit n'avoir pas observé de clivages; M. Wyrouboff (⁴) indique deux clivages *faciles.*

Le Tableau suivant donne les angles des normales observés et calculés, ainsi que les angles observés antérieurement.

$$a:b:c = 0,99982:1:0,84353,$$
$$\beta = 84^\circ 35'.$$

(¹) VRBA, *Sitz. Akad. Wien.*, t. LXXX. 1ʳᵉ série, 1879, p. 7.
(²) HIRSCHWALD, *Lieb. Ann.*, t. CXCVI, 1879, p. 330.
(³) WEBSKY, *Ber. d. D. chem. Gesell.*, t. XVIII, 1885, p. 1319.
(⁴) WYROUBOFF in ARNAUD, *Comptes rendus*, t. CXXVI, 1898, p. 1209.

	Angles des normales calculés.	Angles des normales mesurés.	Vrba. A.	Hirschwald. A.	Hirschwald. B.	Websky. C.	Wyroub[oft]. D.
ph^1 (001)(100)	Fond.	*84°35'	84°45'.5	84°50'	84°53'	»	84°2
h^1a^1 (100)$(10\bar{1})$	53° 2'	53. 3	53. 8	52.43	52.40	»	53.
pa^1 (001)$(\bar{1}01)$	Fond.	*42.23	42. 6	42. 2	42.10	»	»
mh^1 (110)(100)	Fond.	*44.52	44.52	44.26	44.33	44°43'	»
mm (110)$(1\bar{1}0)$	89.44	89.42	»	89.10	89.18	»	89.2
pe^1 (001)(011)	40. 1.5	40. 2	39.53	40. 3	40. 3	»	»
e^1e^1 (011)$(0\bar{1}1)$	80. 3	80. 4	»	80.10	»	»	79.3
a^1m $(10\bar{1})$(110)	64.46.5	64.48	64.52	»	»	64.25	»
me^1 (110)(011)	59.40.5	59.38	59.41	»	»	»	»
e^1a^1 (011)$(\bar{1}01)$	55.33	55.33	54.51	»	»	55.26	»
me^1 (110)$(01\bar{1})$	66.16	66.16	65.52	»	»	»	»
pm (001)(110)	86.10	86. 9	86. 7	»	»	»	»
h^1e^1 (100)(011)	85.51	85.52	»	»	»	»	»

A. Du sucre de quercitrine,
B. De la xanthorhamnine.
C. De la naringine,
D. De l'ouabaïne.

II. — Propriétés optiques.

1. *Orientation et angle des axes* (*raie* D). — Les axes optiques sont placés dans le plan g^1(010) et se voient à travers h^1(100). On peut obtenir l'angle vrai des axes et l'angle intérieur de la bissectrice aiguë axec la normale à la plaque, par l'observation simultanée des limites de réflexion totale et des axes optiques sur un cristal immergé dans de l'iodure de méthylène. J'ai obtenu avec six cristaux, pour ces angles $2V$ et φ, les

valeurs suivantes relatives à la raie D :

$2V_D$.	φ.
58° 2′ 40″	6° 34′ 30″
58. 8.10	6.35.55
58. 3.10	6.58.20 (?)
57. 56.0	6.48. 0
58. 6.40	6.36.30
58. 9.30	6.46. 5

Je prendrai, comme valeurs moyennes,

$$2V = 58^\circ\ 5',$$
$$\varphi = 6^\circ 40'.$$

La bissectrice aiguë est placée dans l'angle *aigu* des axes cristallographiques et fait par conséquent avec l'axe vertical *c* un angle de 83°20′.

Le signe optique est *négatif*.

2. *Indices pour la raie* D. — Les indices principaux ont été déterminés par la méthode du prisme. Un premier prisme ayant son arête sensiblement parallèle à l'axe binaire m'a donné l'indice moyen. Les faces étaient recouvertes de lames de verre parfaitement planes et parallèles, collées avec de la térébenthine épaissie d'indice 1,4924. Il était dès lors facile, en connaissant l'angle du prisme nu et celui du prisme recouvert de lames, de calculer la petite correction nécessitée par le prisme de térébenthine. On trouve ainsi comme moyenne de plusieurs lectures :

Angle du prisme nu................		68° 42′ 30″
Angle	du prisme recouvert.....	68.34.47
Déviation	du prisme recouvert.....	50.38.56

La déviation calculée pour la lame de térébenthine est 10′56″;

on a dès lors pour la valeur brute $n_D = 1,53119$ et pour la valeur corrigée $n_D = 1,53110$.

L'orientation du prisme n'était pas parfaite : on l'a déterminée au moyen des faces témoins. Des valeurs approchées des trois indices permettent de calculer la correction; elle est négative et égale à $-0,00004$. J'ai donc admis pour l'indice moyen la valeur

$$n_m = 1,53106.$$

Les indices maximum et minimum m'ont été donnés par un prisme ayant pour plan bissecteur le plan de symétrie. L'erreur de taille était inférieure à 1°, ce qui donnerait pour les indices une erreur négligeable (0,0000013). Les faces étaient comme dans le premier cas recouvertes de lames planes et parallèles collées avec de la térébenthine épaisse. Le prisme a été repoli au cours des expériences, ce qui donne deux séries de mesures.

Première série.

Angle du prisme nu		61°. 2'. 0"
Angle du prisme recouvert		61. 3.45
Déviation du prisme recouvert	n_g	41.17.22,5
	n_p	40.18.22,5

Indices corrigés .... $n_g = 1,533613$, $n_p = 1,522961$.

Seconde série.

Angle du prisme nu		60°.18'.30"
Angle du prisme recouvert		60.21.45
Déviation du prisme recouvert	n_g	40.31.10
	n_p	39.33.30

Indices corrigés .... $n_g = 1,533589$, $n_p = 1,522896$,

Moyennes admises .... $n_g = 1,53360$, $n_p = 1,52293$.

Ces valeurs conduisent à une vérification excellente de l'angle des axes :

$$V \begin{cases} \text{calculé} = 29^\circ\,4'30'', \\ \text{observé} = 29^\circ\,2'30''. \end{cases}$$

J'avais auparavant essayé de mesurer les indices au moyen de l'appareil à réflexion totale Abbe-Pulfrich. Je n'ai pu observer les limites sur des faces naturelles, non plus que sur des faces amenées au poli parfait par un opticien habile, mais un peu arrondies par le travail du polissage, la substance étant tendre et déformable. Je n'ai obtenu de limites nettes que sur des plaques frottées énergiquement sur un verre dépoli avec interposition d'un peu d'eau ; quand l'eau s'évapore le frottement se fait sur la matière solide fixée au verre dépoli. Les limites sont nettes, mais variables suivant qu'on a frotté plus ou moins fortement ; avec l'indice minimum, qui a été l'objet de mesures multipliées, les angles de réflexion totale ont varié de 53°41′45″ à 53°40′2″,5 ; ce qui donne les indices 1,52318 et 1,52373 différant de +0,00025 et de +0,00080 de l'indice fourni par le prisme. Avec l'indice maximum on a les valeurs extrêmes 1,53409 et 1,53387, avec les différences +0,00049 et +0,00027, et avec l'indice moyen les valeurs extrêmes 1,53165 et 1,53149 et les différences +0,00059 et +0,00043. Ce sont des résultats un peu plus marqués mais tout à fait du même genre que ceux que j'ai obtenus dans des mesures comparatives d'indices par le prisme et par la réflexion totale [1] ; en opérant sur le sel gemme, la sylvine, le gypse, j'ai trouvé des différences s'élevant à +0,00022, tandis qu'il n'y avait pas de différences sensibles pour des corps plus durs tels que la calcite ou les verres. Ceci montre une fois de plus combien il faut se méfier

---

[1] H. Dufet, *Bull. Soc. de Minér.*, t. XIV, 1891, p. 130.

des résultats de la réflexion totale toutes les fois que la substance est tendre et qu'on est obligé de frotter énergiquement pour avoir des faces planes.

3. *Dispersion des indices principaux.* — Pour obtenir la dispersion des indices principaux j'ai mesuré sur mes prismes la différence de déviation entre la raie D et les raies du lithium, du thallium et de l'hydrogène. Les causes d'erreur qui avaient conduit à de petites corrections, pour les indices relatifs à la raie D, sont sans influence appréciable pour les différences d'indices, même, comme je l'ai vérifié par le calcul, pour la raie la plus réfrangible, la raie violette de l'hydrogène. Je trouve ainsi pour les différences d'indices :

	Indices		
	maximum.	moyen.	minimum.
D — *Li*.......	0,00308	0,00318	0,00307
D — C.........	0,00260	0,00268	259
Tl — D.......	0,00271	0,00282	270
F — D.	0,00600	0,00618	599
H_γ — D.......	0,01086	0,01116	1086

Les valeurs trouvées se laissent très bien représenter par une formule à quatre termes

$$n = A + B.\frac{1}{\lambda^2} + C.\frac{1}{\lambda^4} - D.\lambda^2,$$

avec les valeurs suivantes des coefficients :

	A.	B.	C.	D.
Ind. maximum....	1,527007	0,0027540	0,0001506	0,007448
Ind. moyen.......	1,524000	0,0029441	0,0001423	0,007479
Ind. minimum....	1,516530	0,0026707	0,0001597	0,007588

les longueurs d'onde étant exprimées en *millièmes* de millimètre.

On obtient ainsi le Tableau suivant :

Indice maximum.

Raies.	Longueurs d'onde.	Indice mesuré.	Indice calculé.	Obs. — Calc.
	μ			
Li.........	0,6708	1,53052	»	»
C.........	0,6563	1,53100	1,531005	$-0,5 \times 10^{-5}$
D.........	0,5893	1,53360	»	»
Tl........	0,5350	1,53631	1,536335	$-2,5$
F..........	0,4861	1,53960	»	»
H_γ........	0,4341	1,54446	»	»

Indice moyen.

Raies.	Indice. mesuré.	Indice. calculé.	Obs. — Calc.
Li.........	1,52788	»	»
C.........	1,52838	1,528381	$-0,1 \times 10^{-5}$
D.........	1,53106	»	»
Tl.........	1,53388	1,533882	$-0,2$
F..........	1,53724	»	»
H_γ........	1,54222	»	»

Indice minimum.

Li.........	1,51986	»	»
C.........	1,52034	1,520343	$-0,3 \times 10^{-5}$
D....... ..	1,52293	»	»
Tl.........	1,52563	1,525658	$-2,8$
F.....	1,52892	»	»
H_γ........	1,53379	»	»

Il paraît bien résulter du calcul que les valeurs des indices maximum et minimum pour la raie du thallium, mesurés en même temps sur le même prisme, sont affectées d'une erreur expérimentale atteignant 2 à 3 unités du cinquième ordre (*voir* plus loin p. 156),

On remarquera l'importance qu'a dans la dispersion de ce corps le terme en λ^2, qu'on appelle souvent le *terme de Briot;* la courbe, ayant pour ordonnées les indices et pour abscisses les valeurs de $\frac{1}{\lambda^2}$ présente un point d'inflexion au milieu du spectre visible. Ce point d'inflexion est donné par $\frac{d^2 n}{\left(d \frac{1}{\lambda^2}\right)^2} = 0$ ou $\lambda = \sqrt[6]{\frac{C}{D}}$; on a, pour les trois indices, les valeurs très voisines :

Ind. maximum	$\lambda = 0^{\mu},522$
Ind. moyen	$\lambda = 0,517$
Ind. minimum	$\lambda = 0,525$

On se rendra bien compte de la forme de la courbe, en calculant la différence entre les indices observés et ceux que donnerait, pour la raie du lithium et la raie violette de l'hydrogène, la tangente à la courbe au point d'inflexion, utilisée comme courbe donnant les indices. Le calcul fait pour l'indice moyen donne :

	Calculé.	Mesuré.	Obs. — Calc.
Li.......	1,52811	1,52788	-23×10^{-5}
H_γ.......	1,52212	1,52222	$+10 \times 10^{-5}$

4. *Dispersion des axes optiques.* — Pour obtenir l'angle des axes pour différentes couleurs, et la dispersion des bissectrices situées dans le plan de symétrie, j'ai utilisé deux plaques sensiblement perpendiculaires à chacun des deux axes optiques. Une observation préliminaire donne l'angle que fait avec la normale à la plaque l'axe *intérieur* pour la raie D ; on peut donc calculer l'angle *extérieur* dans l'air. En mesurant l'angle que font, dans l'air, l'axe pour une couleur déterminée et l'axe pour la raie D, on a l'angle *extérieur* et par calcul

l'angle *intérieur* de cet axe avec la normale à la plaque, et par suite avec l'axe *intérieur* pour la raie D.

On a trouvé précédemment (p. 149) que l'angle des axes pour la raie D était égal à 58°5′ et que la bissectrice aiguë faisait dans l'angle aigu des axes cristallographiques un angle de 6°40′ avec la normale à h^1 (100), et par conséquent avec l'axe vertical un angle de 83°20′. En admettant ces valeurs, on a pour les angles V_1 et V_2 des deux axes optiques avec la normale à h^1 (100) :

Raies.	V_1.	V_2.
Li	36°.10′.55″	23°. 2′.30″
C	36. 3.15	22.55.45
D	35.42.30	22.22.30
Tl	35.14.30	21.49. 5
F	34.31.50	21.10.10
H_γ	33.27.30	20.10.10

D'où, pour l'angle intérieur des axes optiques ($2V = V_1 + V_2$), pour l'angle de la bissectrice aiguë avec la normale à h^1 ($2\varphi = V_1 - V_2$), et pour l'angle $\pi - \varphi$ de cette même bissectrice aiguë avec l'axe vertical, dans l'angle *aigu* des axes cristallographiques, les valeurs :

Raies.	$2V$.	φ.	$\pi - \varphi$.
Li	59°.13′.25″	6°.34′.12″,5	83°.25′.47″,5
C	58.59. 0	6.34.15	83.25.45
D	58. 5. 0	6.40. 0	83.20. 0
Tl	57. 3.35	6.42.42,5	83.17.17,5
F	55.42. 0	6.40.50	83.20.10
H_γ	53.37.40	6.38.40	83.21.20

On voit donc que la dispersion des axes optiques est assez forte, mais celle des axes d'élasticité sensiblement nulle.

Les valeurs de l'angle des axes optiques, calculées au moyen des indices, s'accordent très bien avec les valeurs expérimen-

tales. Le Tableau suivant contient les angles des axes calculés au moyen des valeurs des indices données par les formules précédemment établies (*voir* p. 152), et les valeurs de l'indice moyen calculées au moyen de l'angle des axes *mesuré* et des valeurs *calculées* des indices maximum et minimum. L'accord entre le calcul et l'observation, pour la raie du thallium, montre la réalité de l'erreur signalée page 153.

Raies.	2V calculé.	Obs. — Calc.	n_m calculé.	Obs. — Calc.
Li.....	59°.20′.20″	— 6′.55″	1,527894	$-1,4\times10^{-5}$
C......	59.13. 0	—14. 0	1,528400	—2,0
D......	58. 9. 0	— 4. 0	1,531065	—0,5
Tl.....	57. 2. 0	+ 1.35	1,533880	0
F......	55.49.40	— 7.40	1,537250	—1,0
H_γ.....	53.40.20	— 2.40	1,542223	—0,3

Les observations ont été faites à une température voisine de 15°C.; je n'ai pas observé d'influence sensible de la température sur l'angle des axes.

Recherches expérimentales sur l'existence de la polarisation rotatoire dans les cristaux biaxes;

Par M. H. Dufet.

Quelques années après que Airy eut expliqué, à l'aide d'hypothèses, que l'observation a justifiées *a posteriori* d'une façon plus ou moins complète, les phénomènes présentés par le quartz dans le voisinage de l'axe optique, dès 1837, Mac Cullagh (1), dans un essai de théorie de la polarisation rotatoire, arrivait à cette conclusion que les biaxes pouvaient

(1) Mac Cullagh, *Irish Acad. Trans.*, t. XVII, part 3, p. 461. — *Proceed. of Ir. Acad.*, 1837-1840, p. 383.

aussi posséder la polarisation rotatoire, qu'en général la polarisation y est elliptique, qu'elle devient circulaire dans la direction des axes optiques, et que par suite, dans cette direction, certains cristaux biaxes devaient présenter des phénomènes analogues à ceux qu'on rencontre dans le quartz. Aucun essai de vérification ne fut fait. Verdet ([1]), rapportant les résultats de Mac Cullagh, insiste sur les difficultés d'une vérification expérimentale : « Dans les cristaux à un axe, le rayon ordinaire a une vitesse constante, et le rayon extraordinaire acquiert sa vitesse maximum ou minimum lorsqu'il se meut dans la direction de l'axe. Il en résulte que les phénomènes varient très lentement dans le voisinage de l'axe. Dans les cristaux à deux axes, au contraire, l'axe optique est une direction suivant laquelle les vitesses des deux rayons sont fortuitement égales ; aucune d'elles n'y est maximum ou minimum, et elles varient rapidement dès qu'on s'en écarte. On conçoit donc que les propriétés rotatoires suivant les axes optiques seraient très difficiles à mettre en évidence. »

Le résultat de Mac Cullagh fut retrouvé par tous ceux qui s'occupèrent théoriquement de la question ([2]). Une vérification expérimentale est due à M. Beaulard ([3]), qui étudia le pouvoir rotatoire dans le quartz rendu biaxe par compression ; il montre, en employant la lumière parallèle, que dans un

---

([1]) Verdet, *Optique physique*, t. II, 1870, p. 326.

([2]) Clebsch, *Journal de Crelle*, t. 57, 1860, p. 355. — Boussinesq, *Journ. de Liouville*, 2e série, t. XIII, 1868, p. 336. — Von Lang, *Pogg. Ann.*, Ergänz. — B. VIII, 1878, p. 618. — W. Gibbs, *Amer. J. of Sc.*, 3e série, t. XXXIII, 1882, p. 460. — Voigt, *Wied. Ann.*, t. XIX, 1883, p. 897. — Goldhammer, *Journ. de Phys.*, 3e série, t. I, 1890, p. 205. — O. Weder, *N. Jahrb. f. Miner.*, Beil. — B. XI, 1897, p. 1-45. — Chipart, *Théorie gyrostatique de la lumière*, Paris, 1904, p. 40.

([3]) Beaulard, *Sur la coexistence du pouvoir rotatoire et de la double réfraction dans le quartz*. (*Thèse* de la Faculté de Paris, Marseille, 1893. Résumé dans *J. de Phys.*, 3e série, t. II, 1893, p. 472.)

quartz comprimé, dans lequel l'angle des axes était de 8° environ, un rayon circulaire se propage sans altération dans les directions des axes optiques acquis par compression et avec une vitesse différente suivant le sens de gyration. La remarque de Verdet subsiste pourtant, car le quartz comprimé de M. Beaulard nous donne à coup sûr un biaxe, mais d'une biréfringence exceptionnellement faible dans le voisinage des axes optiques.

En 1901 paraît un Mémoire de M. Pocklington ([1]), qui présente cet intérêt capital que l'auteur a le premier donné une méthode générale d'observation. Partant, comme l'avait fait W. Gibbs, de la théorie électromagnétique de la lumière, il arrive à des conséquences qui, pour les uniaxes, concordent absolument avec les résultats d'Airy, ou mieux avec ceux de M. Gouy. Ce savant, on le sait, a donné une théorie de la polarisation rotatoire ([2]) où il retrouve, avec des hypothèses beaucoup mieux établies que celles d'Airy, les résultats de ce dernier : suivant chaque direction, dans un milieu cristallisé, peuvent se propager deux vibrations elliptiques, de rotation inverse, géométriquement semblables et ayant leurs grands axes rectangulaires ; la vibration, ayant une gyration de même sens que le pouvoir rotatoire du milieu, prend l'avance; l'excentricité des ellipses est fonction du retard qui serait donné par la double réfraction à des vibrations rectilignes dans le cas où le pouvoir rotatoire n'existerait pas.

M. Pocklington, retrouvant ce résultat pour les biaxes, fait remarquer que, sur une plaque taillée perpendiculairement à un axe optique et examinée en lumière convergente entre deux nicols croisés, la branche d'hyperbole qui traverse les anneaux circulaires obtenus dans ce cas ne sera pas noire, mais le

([1]) Pocklington, *Philos. Magaz.*, 6ᵉ série, t. II, 1901, p. 361.

([2]) Gouy, *Sur les effets simultanés du pouvoir rotatoire et de la double réfraction* (*J. de Phys.*, 2ᵉ série, t. IV, 1885, p. 149).

deviendra, pendant que les anneaux se disloqueront, si l'on tourne dans un sens convenable le nicol analyseur. Si la lumière est analysée circulairement, on obtient une spirale de même sens que le pouvoir rotatoire suivant l'axe.

M. Pocklington a vérifié ces faits sur le sucre de canne et le sel de Seignette potassique. Le sucre cristallise, comme on sait, dans le système clinorhombique, avec hémiédrie non superposable [L^2, oC, oP]; les axes optiques sont dans g^1 (010); l'un d'eux fait avec l'axe vertical, dans l'angle *obtus* des axes cristallographiques, un angle de 42°55′, l'autre un angle de 90°35′ : il est donc à peu près normal à h^1 (100), plan de clivage parfait. Le pouvoir rotatoire pour le premier axe (axe *fort*) est *droit* et égal à $+64° \pm 6$; pour le second axe (axe *faible*), il est *gauche* et égal à $-22° \pm 2$, pour une épaisseur de 1^{cm}. La rotation pour le sucre fondu, calculée d'après le pouvoir rotatoire des dissolutions, serait de $+10°$.

Avec l'analyseur circulaire, M. Pocklington, opérant sur des plaques trop minces, n'a vu que le commencement de la spirale ; les tours de spire sont rapidement *décalés*, dès qu'on s'éloigne de l'axe, au voisinage de la position qu'occupe en lumière polarisée rectilignement l'hyperbole neutre. Le phénomène rappelle celui des cristaux n'ayant pas de pouvoir rotatoire ; dans ceux-ci, l'hyperbole neutre prend une intensité $\frac{1}{2}$, et les demi-anneaux placés de part et d'autre de l'hyperbole sont contractés ou dilatés d'un quart de la distance qui les sépare du suivant. Les figures 1 et 2, planche I, représentent les spirales pour les deux axes du sucre, obtenues avec deux plaques de 4^{mm} d'épaisseur et pour la raie violette de l'arc au mercure ($\lambda = 0^{\mu},4358$). La vibration incidente est parallèle au plan des axes optiques. L'analyseur est un analyseur circulaire ; en changeant le sens de rotation de la vibration circulaire transmise, on fait tourner la spirale de rotation de 180°, sans changer sa forme. Dans ces photographies,

1^{cm} répond à un angle des rayons *extérieurs* égal à 3° [1].

Pour le sel de Seignette potassique $[(C^4H^4O^6)NaK + 4H^2O]$, M. Pocklington donne la valeur approchée + 12° par centimètre ; ici le sel est orthorhombique, avec hémiédrie holoaxe $[L^2, L'^2, L''^2]$, et la rotation est la même suivant les deux axes.

J'ai cherché à étendre les observations à d'autres sels en rendant le procédé d'observation plus facile et d'un emploi plus général. M. Pocklington observe les plaques entre deux nicols, sans appareil convergent, ce qui revient à l'emploi de la pince à tourmalines ; il n'est guère possible par ce moyen, avec des cristaux médiocrement biréfringents, comme le sucre, d'observer des plaques de plus de 6^{mm} à 7^{mm} d'épaisseur ; les anneaux sont trop serrés. M. Pocklington indique une autre méthode qui permettrait d'étudier des plaques plus épaisses, mais exige des plaques assez étendues et bien homogènes ; elle consiste à placer la plaque devant l'objectif d'une lunette, en mettant le polarisateur en avant de la plaque et l'analyseur en arrière de l'oculaire.

On pourra étudier des substances très biréfringentes, en plaques assez épaisses, en modifiant légèrement les microscopes employés pour les observations en lumière convergente. On sait que dans ces instruments, microscope ordinaire ou appareil à angle des axes, l'image réelle des courbes isochromatiques formée dans le plan focal d'un objectif très convergent (*focus*) est examinée à l'aide d'une lentille auxiliaire, formant avec l'oculaire un nouveau microscope de faible grossissement. Il suffira de remplacer le *focus* par un objectif très faible, et la lentille auxiliaire par une lentille plus puissante ou un objectif de grossissement moyen. On peut ainsi

---

(1) M. Cotton, maître de conférences à l'École Normale, m'a prêté son concours pour l'obtention de ces photographies avec une complaisance dont je le remercie vivement.

PLANCHE I.

Fig. 1.

Fig. 2.

PLANCHE II.

Fig. 3.

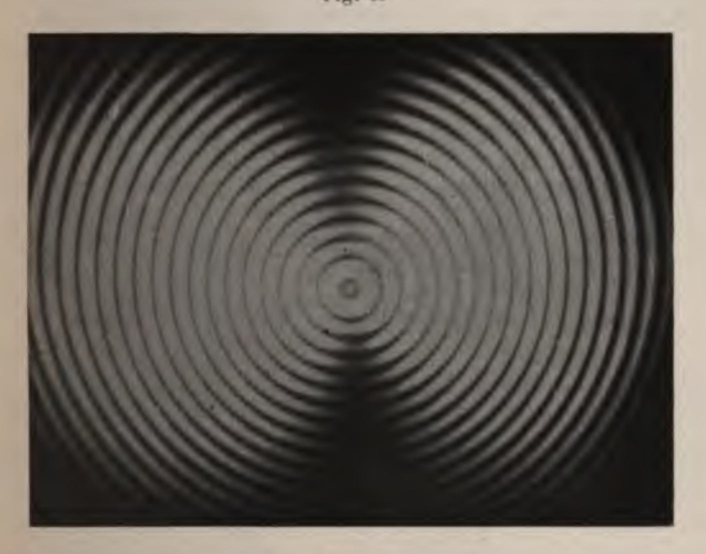


Fig. 4.

PUBLIC LIBRARY
ASTOR,
TILDEN

étudier des corps très biréfringents, comme l'acide tartrique, où la biréfringence maximum atteint 0,109, sous une épaisseur de 1^{cm}.

J'ai vérifié d'abord les résultats de M. Pocklington ; pour le sucre de cannes, j'ai retrouvé les mêmes valeurs dans les limites des erreurs d'expérience. Pour le sel de Seignette potassique, je trouve une rotation un peu plus forte, $+13°,5$ au lieu de $+12°$.

Avec le sel de Seignette ammoniacal

$$[(C^4H^4O^6)NaAzH^4+4H^2O],$$

on a une rotation *gauche* de $-15°,5$ par centimètre. Les deux sels sont droits en dissolution avec des pouvoirs rotatoires presque égaux. Mais il faut remarquer que dans ces deux sels isomorphes les axes optiques occupent des positions très différentes, et le changement de signe prouverait simplement que, comme dans le sucre, le pouvoir rotatoire cristallin est très variable avec la direction. En effet, dans le sel potassique, les axes optiques, placés dans g^1(**010**), ont pour bissectrice aiguë l'axe horizontal *a* et font un angle $2V_D = 71°30'$, tandis que, dans le sel ammoniacal, ils sont placés dans h^1(**100**), ont pour bissectrice aiguë l'axe vertical *c* et font un angle

$$2V_D = 59°40'.$$

Au même système orthorhombique, avec le même genre d'hémiédrie, appartient le *d*-méthyl-α-glucoside,

$$C^6H^{11}(CH^3)O^6.$$

Il est dextrogyre en dissolution avec un pouvoir rotatoire considérable, $[\alpha_D] = 157°,5$. Les cristaux donnent suivant les axes une rotation *droite* de $+44°$ par centimètre.

L'hémiédrie non superposable du système orthorhombique se présente dans quelques cristaux dont les dissolutions sont absolument inactives, et où par conséquent l'existence du pouvoir rotatoire cristallin tient uniquement à un phénomène de structure tout à fait indépendant de la symétrie ou de la dissymétrie de la molécule.

1° Le sulfate de magnésie ordinaire (sel d'Epsom) cristallise avec sept molécules d'eau en cristaux hémièdres. Il m'a donné une rotation *gauche* de $-26°$ environ par centimètre. Les quelques cristaux assez volumineux et limpides pour se prêter à l'observation avaient la même forme, la face du sphénoèdre terminal à gauche et en haut en regardant l'angle obtus du prisme, et tous les trois tournaient à gauche. Il n'est pas douteux que des cristaux symétriques de ceux-ci donneraient une rotation droite.

2° Le phosphate monosodique PO^4NaH^2 peut cristalliser avec deux molécules d'eau. Nous l'avons montré, A. Joly et moi, il y a un certain nombre d'années ([1]). Les cristaux que j'ai obtenus récemment, comme ceux que j'avais étudiés autrefois, présentent tous la même forme, les faces a^1 (101) et e^1 (011) dominantes avec la face hémièdre b^1 à gauche et en haut $(1\bar{1}2)$. Ils ont le même pouvoir rotatoire à *droite*; la valeur moyenne obtenue sur 5 bons cristaux est $+44°,5$.

L'arséniate monosodique $AsO^4NaH^2 + 2H^2O$ est complètement isomorphe avec le phosphate et doit présenter un pouvoir rotatoire voisin; mais je n'ai pu, à cause de l'élévation de la température, obtenir de bons cristaux de ce sel.

3° Le formiate de strontiane, étudié par Pasteur, qui avait essayé inutilement, nous savons pourquoi aujourd'hui, d'obtenir avec ce sel des dissolutions actives, ne présente pas,

---

([1]) A. Joly et H. Dufet, *Sur l'orthophosphate et l'arséniate monosodique* (*Bull. Soc. de Minér.*, t. IX, 1886, p. 194).

malgré son hémiédrie, de pouvoir rotatoire sensible sous une épaisseur de 9mm,5.

Dans le système clinorhombique, j'ai observé la polarisation rotatoire dans l'acide tartrique et dans le rhamnose ou isodulcite.

L'acide tartrique a pour bissectrice obtuse des axes optiques l'axe binaire qui est le seul élément de symétrie du cristal; les axes optiques sont donc symétriques par rapport à cet axe, et par conséquent sont identiques au point de vue du pouvoir rotatoire. L'acide tartrique ordinaire (acide dextrotartrique) présente suivant les axes une rotation *gauche* plus marquée que dans les corps précédents. J'ai mesuré la rotation pour la raie D sur quatre plaques d'épaisseurs très différentes, et suis arrivé aux nombres suivants:

Épaisseur.	Rotation pour 1cm.
mm	°
2,1	— 116
3,3	— 113,5
8,7	— 112
9,8	— 114,5

J'admettrai la valeur moyenne — 114° par centimètre.

J'ai mesuré, sur la plaque de 9mm,8, les pouvoirs rotatoires pour les raies du lithium et du thallium, et j'ai obtenu les valeurs suivantes:

Raies.	Longueurs d'onde.	Rotation pour 1cm.
	μ	°
Li............	0,6708	— 85,5
D.............	0,5893	— 114
Tl...........	0,5350	— 142,25

C'est là une dispersion tout à fait normale. Une plaque de quartz qui donnerait une rotation de 114° pour la raie D donnerait pour le lithium 87° et pour le thallium 140°.

Ce fait est intéressant à signaler à cause des anomalies que

présente l'acide tartrique en dissolution. Le pouvoir rotatoire est presque constant dans l'étendue du spectre visible, avec un maximum qui se déplace du violet vers le rouge quand la concentration augmente, ou quand la température diminue. Ce pouvoir *dextrogyre* diminue quand la concentration augmente et finit par changer de signe pour des dissolutions aqueuses sursaturées et les rayons les plus réfrangibles du spectre. Le même phénomène se produit avec les dissolutions alcooliques.

La seconde substance clinorhombique étudiée est le rhamnose. J'ai repris complètement l'étude de ses propriétés optiques ; les résultats sont rapportés dans la Note qui précède celle-ci (*voir* p. 148). Ce corps qui, à l'état surfondu ou en dissolution aqueuse, est faiblement *dextrogyre*, et *lévogyre* dans l'alcool, est de beaucoup, parmi ceux que j'ai étudiés, celui qui permet le plus facilement l'observation des phénomènes de polarisation rotatoire cristalline. Comme je l'ai dit dans la Note précédente, les axes optiques, placés dans le plan g^1 (010), peuvent s'observer, soit dans l'air, soit dans un liquide réfringent, comme l'iodure de méthylène, à travers la face h^1 (100) dont la normale fait un angle de 6° 40′ avec la bissectrice aiguë. Connaissant l'épaisseur du cristal et les angles que font les axes intérieurs avec la normale à la plaque, on a l'épaisseur traversée ; les résultats concordent d'ailleurs parfaitement avec ceux obtenus sur des plaques taillées normalement aux axes optiques.

La rotation est *gauche* pour les deux axes ; elle atteint, pour la lumière du sodium, la valeur considérable de — 129° pour l'un des axes (axe *fort*), celui qui est le plus éloigné de la normale à la face d'observation, et pour l'autre axe (axe *faible*) elle est de — 54° par centimètre. Ces nombres sont la moyenne des mesures effectuées sur 10 cristaux, où l'épaisseur traversée a varié de 5^{mm} à $11^{mm},5$.

Le rhamnose est peu biréfringent; la biréfringence maximum est 0,0107, tandis qu'elle est 0,033 dans le sucre et 0,0109 dans l'acide tartrique; aussi les phénomènes sont-ils très marqués. Sur l'axe fort, dès que l'épaisseur atteint 5^{mm} ou 6^{mm}, l'hyperbole neutre disparaît complètement au centre des anneaux; les premiers anneaux se contractent ou se dilatent, avec une faible déformation, par la rotation de l'analyseur, en rappelant d'une façon frappante les phénomènes qu'on observe avec le quartz. Avec un analyseur circulaire, on obtient une spirale régulière sur plus de 10 tours.

La pince à tourmalines convient très bien pour l'observation. Il faut, bien entendu, opérer avec la lumière monochromatique, car les axes optiques sont notablement dispersés, 3° environ pour chaque axe, entre la lumière du lithium et la raie violette de l'hydrogène ($\lambda = 0^{\mu},4341$).

Les figures 3 et 4 (Planche II) représentent les anneaux et la spirale, pour la raie violette du mercure ($\lambda = 0^{\mu},4358$), observés sur une plaque normale à l'axe fort, ayant une épaisseur de $6^{mm},27$. Dans ces figures, comme dans les précédentes, une longueur de 1^{cm} répond à un angle des rayons *extérieurs* égal à 3°. La vibration incidente est parallèle au plan des axes optiques. La bissectrice aiguë se trouve en haut, par rapport à l'axe observé.

J'ai étudié la dispersion de pouvoir rotatoire pour l'axe *fort* sur une plaque de $8^{mm},95$. Ici encore la dispersion est normale. Dans le Tableau suivant, je donne les résultats observés, ceux calculés par la formule

$$\rho = 59,68 + 7,69 \frac{1}{\lambda^2} + 5,69 \frac{1}{\lambda^4}$$

et les rotations que donnerait une plaque de quartz d'épaisseur convenable.

Raies.	Longueurs d'onde.	Rotation pour 1mm. observée.	calculée.	Rotation du quartz.
Li.......	0,6708 μ	— 104°	— 105°	98.2°
D	0,5893	— 129	— 129	129.0
Tl.......	0,5350	— 155	— 156	158.2
F........	0,4861	— 195	— 194	194.8
H_g......	0,4358	— 261 (app.)	— 258	246.8

Je voudrais en terminant appeler l'attention des observateurs sur une conséquence des calculs de Willard Gibbs et de M. Chipart. Les cristallographes et les physiciens ont toujours affirmé d'une manière plus ou moins explicite que, si l'on arrivait à montrer expérimentalement le pouvoir rotatoire dans les biaxes, ce ne serait que dans les corps qui donnent une forme cristalline non superposable à son image, comme c'est le cas général dans les substances qui possèdent en dissolution le pouvoir rotatoire moléculaire. En fait, c'est dans des cristaux de ce groupe que M. Pocklington, et moi-même en suivant la voie tracée par lui, l'avons rencontré. « C'est avec une probabilité qui touche à la certitude, dit Ch. Soret (¹), que l'on peut dire que le pouvoir rotatoire ne se rencontre que dans les milieux hémiédriques à formes conjuguées non superposables. » Cette opinion est corrélative de cette autre que le pouvoir rotatoire ne dépend pas de la direction ; c'est en particulier ce qu'avait admis von Lang. On voit ce qu'il en faut penser aujourd'hui. W. Gibbs était au contraire arrivé à la conséquence formelle que le pouvoir rotatoire était variable avec la direction, qu'il pouvait changer de signe dans un même cristal ; ne développant ses calculs que dans le cas des uniaxes, il indique un nouveau groupe de cristaux hémièdres pouvant posséder le pouvoir rotatoire ; c'est celui des cristaux

(¹) Ch. Soret, *Arch. de Genève* (3e Pér.), t. XI, 1884, p. 414.

quadratiques présentant l'hémiédrie sphénoédrique

$$[A^2, 2L^2, 2P']$$.

Le pouvoir rotatoire aurait des valeurs égales et contraires suivant deux directions symétriques par rapport à un plan, et des valeurs égales et de même sens suivant deux directions symétriques par rapport à un axe. Il serait bien difficile, il est vrai, à mettre en évidence, puisqu'il serait assurément nul suivant la direction de l'axe principal et n'atteindrait de valeur notable que dans des directions où la coexistence de la double réfraction ordinaire rendrait sa constatation sinon impossible, au moins singulièrement délicate.

M. Chipart (1) indique comme pouvant posséder le double pouvoir rotatoire, outre les cristaux présentant la tétartoédrie sphénoédrique du système quadratique où il offrirait les mêmes caractères et les mêmes difficultés de constatation que dans le cas indiqué par W. Gibbs, deux autres cas qui pourront permettre une vérification facile, non, à ce qu'il semble, avec les cristaux connus actuellement, mais avec d'autres que peuvent inopinément nous offrir les préparations de corps nouveaux si fréquentes en chimie organique. C'est d'abord l'hémiédrie hémimorphe du système orthorhombique,

$$[L^2, P', P'']$$,

dans le cas où les axes optiques seraient dans un plan perpendiculaire à l'axe d'hémimorphisme, plan qui est une des sections principales de l'ellipsoïde optique. On pourrait avoir suivant ces deux axes des pouvoirs rotatoires égaux et de signe contraire. Je dois dire, qu'ayant examiné à ce sujet la *résorcine* $C^6H^4(OH)^2$ 1.3., qui, comme l'a montré M. P. Groth (2), présente, avec l'hémiédrie hémimorphe, la disposi-

(1) CHIPART, *loc. cit.*, p. 21.
(2) GROTH, *Physik. Kristall.*, 3e éd. 1895, p. 386.

tion des axes optiques indiquée ci-dessus, je n'ai constaté aucun phénomène de polarisation rotatoire sur une épaisseur de près d'un centimètre. Le dernier cas est celui de l'hémiédrie superposable du système clinorhombique (oL^2, oC, P), dans le cas où une des bissectrices des axes optiques serait normale au plan de symétrie. M. Chipart ([1]) retrouve plus loin par son analyse le fait évident que de semblables cristaux, s'ils possèdent la polarisation rotatoire cristalline, ne sauraient donner de dissolutions actives, et qu'il n'y a à jouir de cette propriété que les cristaux à hémiédrie non superposable.

([1]) Chipart, *loc. cit.*, p. 59.

Le Secrétaire, gérant :

Maurice BLONDEL.

34644 Paris. — Imprimerie GAUTHIER-VILLARS, quai des Grands-Augustins, 55.

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE.

ANNÉE 1904. — BULLETIN N° 7.

Des macles secondaires et du polymorphisme;

Par M. FRÉD. WALLERANT.

A plusieurs reprises, j'ai entretenu la Société des macles secondaires, mais ce n'est que progressivement que j'ai pu établir une théorie complète de ces déformations si intéressantes, et des conséquences que l'on en peut tirer relativement au polymorphisme. Je crois donc qu'il n'est pas inutile de reprendre la question dans son ensemble, pour préciser les résultats auxquels je suis parvenu.

Depuis la belle expérience de Baumhauer sur la calcite, on a pu définir d'une façon précise la nature de la déformation, donnant naissance aux macles secondaires : cette déformation est le résultat d'une translation proportionnelle, c'est-à-dire que chaque point se déplace parallèlement à une droite d'un plan proportionnellement à sa distance à ce plan. Mais, pour que cette déformation donne naissance à un cristal symétrique du cristal primitif, il faut qu'elle satisfasse, ainsi que le cristal, à certaines conditions, qui avaient échappé jusqu'ici.

Je rappellerai tout d'abord quelques définitions.

Dans une translation proportionnelle, les points se déplacent proportionnellement à leur distance à un plan, qui est le plan de glissement; le plan perpendiculaire au plan de glissement et parallèle à la translation est le plan de symétrie de la déformation, la droite d'intersection des plans de glissement et de symétrie est l'arête de glissement; la translation d'un point situé à l'unité du plan de glissement est égale au coefficient de glissement, que nous désignerons par k. Les figures situées dans les plans parallèles au plan de glissement ne subissent aucune déformation, elles sont simplement déplacées. Il en est de même des figures, situées dans les plans perpendiculaires au plan de symétrie et faisant avec la direction négative de la translation un angle α, tel que

$$\cot \alpha = \frac{k}{2}.$$

Ces plans sont les plans de nulle déformation; par la déformation, ces plans sont amenés dans une position symétrique relativement au plan de glissement et à la normale à ce plan, et ce sont d'ailleurs les seuls qui jouissent de cette propriété. De même les seules droites, qui soient amenées dans une position symétrique relativement au plan de glissement et à la normale à ce plan, sont les droites d'intersection des plans de symétrie et des plans de nulle déformation. Ces définitions et ces résultats géométriques une fois admis, cherchons les conditions auxquelles doivent être assujettis et la déformation et le cristal, pour que ce dernier soit transformé en son symétrique.

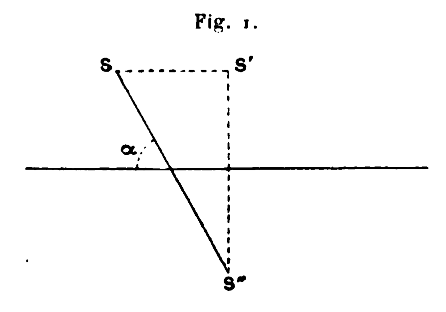
Comme l'a fait remarquer depuis longtemps M. Mügge, dans les applications aux cristaux, il n'y a que deux cas à considérer : dans un cas, le plan de glissement coïncide avec un plan réticulaire, et la droite d'intersection du plan de symétrie et du plan de nulle déformation coïncide avec une ran-

gée; comme, dans ce cas, le cristal est transformé en un cristal symétrique du cristal primitif relativement au plan de glissement, et que les deux cristaux constituent une macle de seconde espèce, M. Mügge désigne cette déformation sous le nom de déformation de seconde espèce. Dans le second cas, l'arête de glissement coïncide avec une rangée, et le plan de nulle déformation avec un plan réticulaire; comme alors les deux cristaux sont symétriques par rapport à l'arête de glissement et constituent une macle de première espèce, la déformation s'appelle de première espèce.

Théorème. — *Pour qu'une translation proportionnelle transforme un polyèdre en son symétrique relativement à son plan de glissement, il faut et il suffit que le plan de glissement soit un plan diamétral du polyèdre, la direction conjuguée étant la droite d'intersection du plan de symétrie et du plan de nulle déformation.*

Soit, en effet, S (*fig.* 1) un sommet du polyèdre; si la défor-

Fig. 1.



mation l'amène en S', pour que le polyèdre soit transformé en son symétrique relativement au plan de glissement, il faut et il suffit que le polyèdre donné possède un sommet S'', symétrique de S' relativement au plan de glissement. Or la droite SS'', qui est évidemment située dans le plan de symé-

trie de la déformation, a son point milieu dans le plan de glissement; en outre, elle fait avec la direction négative de la translation un angle α tel que $2 \cot \alpha = k$. Elle est donc parallèle à la droite d'intersection du plan de nulle déformation avec le plan de symétrie. Ce qui démontre le théorème.

Théorème. — *Pour qu'une translation proportionnelle transforme un polyèdre en son symétrique relativement à l'arête de glissement, il faut et il suffit que l'arête de glissement soit un diamètre du polyèdre, le plan conjugué étant le plan de nulle déformation.*

La démonstration de ce théorème est calquée sur la démonstration précédente.

Déformation de seconde espèce. — Appliquons tout d'abord ces résultats à la déformation du réseau. Dans la déformation par translation proportionnelle, deux droites, deux plans parallèles sont encore parallèles après la déformation, par conséquent un parallélogramme, un parallélépipède se transforment en un parallélogramme, en un parallélépipède, et un réseau se transforme en un réseau. Mais à quelles conditions le nouveau réseau est-il symétrique du premier relativement au plan de glissement?

Dans une déformation de seconde espèce, le plan de glissement coïncide avec un plan réticulaire, et la droite d'intersection du plan de symétrie et du plan de nulle déformation coïncide avec une rangée dite *rangée principale*. D'après le premier théorème, il faut donc que le plan de glissement soit un plan diamétral du réseau, la direction conjuguée étant celle de la rangée principale.

Or on démontre sans difficulté qu'un plan réticulaire quelconque est, d'une infinité de façons, un plan diamétral du réseau, et que l'on obtient les directions conjuguées en joignant un nœud du plan réticulaire à un nœud, soit du plan

réticulaire limitrophe, soit du plan réticulaire parallèle au plan limitrophe et le suivant immédiatement.

Cherchons, en effet, la condition pour qu'un plan réticulaire (qrs) soit un plan diamétral conjugué à la rangée (mnp). A tout nœud $m'\ n'\ p'$ devra correspondre un nœud $m''\ n''\ p''$, tel que la droite joignant ces deux nœuds soit parallèle à la rangée (mnp), et le milieu du segment de droite joignant ces deux nœuds soit dans le plan (qrs). Il faut donc que les relations suivantes soient satisfaites :

$$q(m+m')+r(n+n')+s(p+p')=0,$$

$$\frac{(m'-m'')}{m}=\frac{(n'-n'')}{n}=\frac{(p'-p'')}{p}$$

On en tire :

$$m''=m'-2\,\frac{qm'+rn'+sp'}{qm+rn+sp},$$

$$n''=n'-2\,\frac{qm'+rn'+sp'}{qm+rn+sp},$$

$$p''=p'-2\,\frac{qm'+rn'+sp'}{qm+rn+sp}.$$

Pour que les nombres m'', n'', p'' soient entiers, quels que soient $m'\ n'\ p'$, il faut ou bien que $qm+rn+sp=\pm 1$, ou bien que $qm+rn+sp=\pm 2$; ce qui démontre le théorème énoncé plus haut.

Ce résultat peut être présenté géométriquement d'autre façon : Considérons la maille du réseau, construite sur trois rangées conjuguées [1]. Cette maille étant un parallélépipède

[1] Le mot *conjugué* a dû malheureusement être pris dans deux sens différents pour se conformer aux habitudes : d'une part il est parlé de rangée conjuguée à un plan réticulaire, dans le sens habituel des cristallographes, de l'autre de direction conjuguée à un plan diamétral. Comme il vient d'être démontré, une rangée conjuguée à un plan réticulaire est précisément parallèle à la direction conjuguée de ce même plan considéré comme plan diamétral.

possède neuf plans diamétraux, dont trois, parallèles aux faces, ont leur direction conjuguée parallèle à celle des arêtes qui ne leur est pas parallèle. Les six autres sont les plans passant par deux arêtes parallèles opposées, et la direction conjuguée de l'un de ces plans est la droite joignant les milieux des deux arêtes parallèles opposées, parallèles au plan considéré, et non situées dans ce plan. Ces plans diamétraux de la maille sont également des plans diamétraux du réseau; l'un d'eux étant pris comme plan de glissement, la rangée principale de la déformation devra coïncider avec la direction conjuguée.

Considérons maintenant la particule complexe. Le réseau étant amené dans une orientation symétrique relativement au plan de glissement, il faut qu'il en soit de même de la particule complexe, pour que l'édifice se retrouve identique à lui-même. Tschermak, si je ne me trompe, est le premier à avoir fait cette remarque, et avoir admis que les molécules (particules complexes) tournaient de 180° autour de la normale au plan de glissement, pour venir occuper une position symétrique relativement à ce plan. Mais, outre que ces rotations sont bien difficiles à admettre, de plus cette explication suppose que les molécules possèdent un centre, ce qui n'est pas toujours le cas.

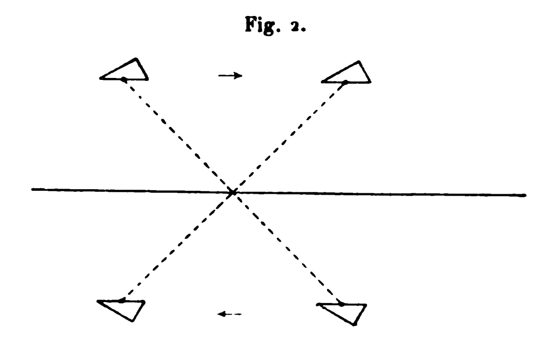
A l'hypothèse admettant la rotation de la particule, je substitue une hypothèse sur la structure du cristal; outre que la première est insuffisante, la seconde a l'avantage d'expliquer la déformation en ne faisant appel qu'aux translations, qui seules nous sont révélées par l'observation; de plus elle rend compte de toutes les particularités des macles secondaires, particularités qui restent inexpliquées dans la première hypothèse.

Mais il faut tout d'abord remarquer que les molécules étant indéformables leurs différents points ne peuvent se déplacer

proportionnellement à leur distance au plan de glissement, puisque cette opération les déformerait; nous admettrons donc que les molécules se déplacent parallèlement à elles-mêmes, leurs centres de gravité seuls subissent une translation proportionnelle à leur distance au plan de glissement.

Considérons donc le polyèdre ayant pour sommets les centres de gravité des molécules constituant une particule complexe. Pour que ce polyèdre se transforme par la translation en son symétrique par rapport au plan de glissement, il faut et il suffit que ce plan soit un plan diamétral de ce polyèdre, la direction conjuguée étant celle de la rangée principale. En outre, comme après la déformation, de deux centres de gravité diamétralement opposés, l'un occupe la position symétrique de celle de l'autre avant la déformation, il faut, pour que la

Fig. 2.



symétrie soit complètement réalisée, qu'en deux points diamétralement opposés se trouvent deux molécules symétriques et symétriquement orientées (*fig.* 2).

Nous arrivons donc à cette conclusion importante : pour qu'un plan puisse être un plan de glissement, il faut qu'il soit un plan diamétral du réseau et de la particule complexe, c'est-à-dire de l'édifice cristallin, tout au moins en ce qui concerne

les centres de gravité, et qu'en outre les molécules soient symétriquement orientées relativement à ce même plan.

Déformation de première espèce. — Dans ce cas, l'arête de glissement coïncide avec une rangée et le plan de nulle déformation avec un plan réticulaire.

Pour que le réseau soit transformé en un réseau symétrique relativement à l'arête de glissement, il faut que celle-ci soit un diamètre du réseau et, par suite, de sa maille, le plan conjugué étant le plan de nulle déformation. Or la maille étant un parallélépipède possède neuf diamètres, qui sont précisément parallèles aux directions conjuguées des neuf plans diamétraux, ceux-ci étant les plans conjugués des neuf diamètres. Il faut donc que l'arête de glissement coïncide avec l'un de ces diamètres, et le plan de nulle déformation avec le plan diamétral conjugué.

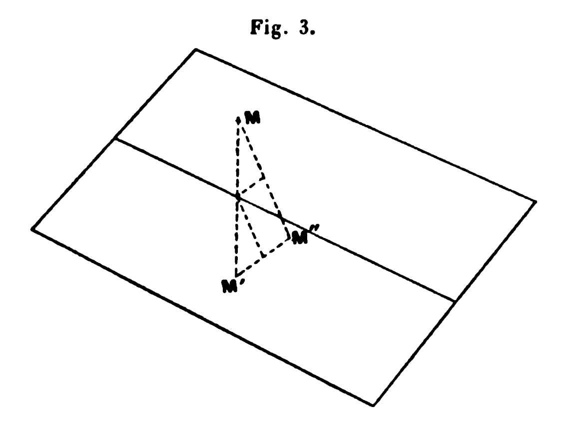
Passons maintenant à la particule complexe. Il faut que la déformation amène les molécules dans une position symétrique de leur position primitive relativement à l'arête de glissement. Par conséquent, celle-ci doit être un diamètre du polyèdre, dont les sommets sont les centres de gravité des molécules, et en outre deux centres de gravité, diamétralement placés, doivent appartenir à deux molécules orientées à 180° autour de cette arête.

Nous arrivons donc à cette conclusion qu'une rangée ne peut être un axe de macle secondaire de première espèce que si elle est un diamètre de l'édifice cristallin, et dans la déformation le plan conjugué sera le plan de nulle déformation.

Déformation simultanément de première espèce et de seconde espèce. — Il est des cas où la déformation peut être considérée à la fois comme de première et comme de seconde espèce. Supposons que les plans de glissement et de nulle déformation soient des plans réticulaires, et que l'arête de glissement et la droite d'intersection du plan de nulle déformation et du

plan de symétrie soient des rangées. Si la déformation est de première espèce, à toute molécule M (*fig.* 3) de la particule

Fig. 3.



complexe correspond une molécule M′ diamétralement opposée à M relativement à l'arête de glissement et les deux molécules devront être orientées à 180° autour de cette droite. D'autre part la déformation étant de seconde espèce, à la molécule M correspond une molécule M″ diamétralement opposée à M relativement au plan de glissement et les deux molécules devront être symétriquement orientées relativement à ce plan. Or il est facile de voir sur la figure que les molécules M′ et M″ seront par suite symétriquement placées par rapport au plan passant par l'arête de glissement et la rangée principale. Ce plan est donc un plan de symétrie de la particule complexe. On démontrerait de même qu'il doit être un plan de symétrie du réseau et par suite de l'édifice cristallin. Tel est le cas de la déformation de la calcite.

Rotation apparente. — On vient de voir comment une translation proportionnelle pouvait transformer un cristal en un autre cristal symétriquement orienté par rapport à une droite, ce qui simule une rotation de 180° autour de cette

droite. Or dans certains cas ces translations peuvent simuler des rotations de 120° ou 90°.

Supposons, par exemple, qu'un cristal possède deux plans diamétraux A, B à 120°, symétriquement placés par rapport à un plan de symétrie du cristal. Un glissement suivant A amène le cristal dans une orientation symétrique relativement à A, et il est bien évident que l'on amènerait le cristal dans la même orientation en le faisant tourner autour de la droite d'intersection du plan A et du plan de symétrie d'un angle égal au double de l'angle de ces deux plans, c'est-à-dire de 120°. De même la position symétrique relativement à l'axe B s'obtiendra au moyen d'une rotation de 120°, mais en sens inverse, autour de la même droite, qui par suite est un axe de groupement d'ordre trois.

On démontrerait de même que, dans certains cas, la déformation peut être équivalente à une rotation de 90°.

Macles secondaires produites sans glissement. — Dans les cas précédents, le cristal et son réseau viennent occuper une position symétrique relativement à un plan diamétral ou à un diamètre de ce réseau. Mais si ce plan diamétral, ce diamètre sont en réalité des éléments de symétrie du réseau, le réseau est à lui-même son symétrique et la macle ne résultera plus que de la déformation de la particule complexe. De telles macles ne se produiront donc que dans des cristaux à structure mériédrique.

Considérons donc un cristal possédant une telle structure; dans lequel par exemple un plan de symétrie du réseau fait défaut dans la particule complexe. Remarquons tout d'abord que les éléments de symétrie du réseau appartenant à la particule complexe, se répètent symétriquement au plan, et, par conséquent, dans deux positions symétriques relativement à ce plan, la particule occupera la même position sur le réseau; les deux orientations sont deux positions d'équilibre. Mais, si

les molécules de la particule ne sont pas orientées symétriquement par rapport au plan du réseau, il peut se faire qu'elles soient très voisines de cette orientation, de telle sorte que, si l'on exerce une action mécanique sur le cristal, les molécules pourront être amenées dans une orientation différant moins de l'orientation symétrique que de leur orientation primitive. Par suite, quand l'action cessera, si l'on n'a pas dépassé la limite d'élasticité, les molécules viendront d'elles-mêmes dans l'orientation symétrique, qui est une position d'équilibre, et la macle sera produite.

De pareilles macles s'observent dans la boracite, dans un composé de chlorhydrate d'ammoniaque et de bromure de nickel. Ces deux corps ont un réseau terquaternaire, mais n'ont qu'un axe binaire coïncidant avec un axe quaternaire du réseau et deux plans de symétrie coïncidant avec deux plans de symétrie non principaux du réseau. Dans ces deux corps on produit avec la plus grande facilité des macles secondaires, symétriques relativement à l'un ou l'autre des quatre plans de symétrie non principaux du réseau déficients au cristal.

On peut également produire des macles sans glissement dans les acétates triples de soude, d'urane et de l'un des métaux suivants : cuivre, cobalt, nickel, zinc ; ces cristaux sont rhomboédriques, mais les plans de symétrie du réseau passant par l'axe ternaire font défaut dans le cristal.

DE LA CONSTITUTION DES CORPS CRISTALLISÉS. CONDITIONS DE FORMATION DES MACLES SECONDAIRES.

Des résultats exposés dans le paragraphe précédent, il est possible de tirer les conclusions les plus intéressantes sur la constitution des corps cristallisés.

Jusqu'ici, au point de vue de la structure, on ne pouvait

faire de rapprochement qu'entre des cristaux appartenant au même système cristallin, sans jamais chercher à établir de lien entre des cristaux de symétries différentes. Il est cependant facile de voir que tous les cristaux présentent une unité de structure, expliquant leurs caractères communs et cet air de famille que l'on retrouve dans tous.

On sait qu'un réseau quelconque diffère d'un réseau cubique en ce qu'une partie ou la totalité des éléments de symétrie du réseau cubique est remplacée par des éléments diamétraux. Il est facile de montrer que ces éléments diamétraux se retrouvent dans la répartition dans l'espace des molécules du corps cristallisé, tout au moins en ce qui concerne les centres de gravité de ces molécules. En outre, en deux points diamétralement opposés relativement à un plan diamétral, se trouvent deux molécules symétriques et non superposables, tandis que, en deux points diamétralement opposés par rapport à un diamètre, se trouvent deux molécules superposables. Mais en général nous ne connaissons pas les relations d'orientations pouvant exister entre les molécules dont les centres de gravité sont diamétralement placés.

En effet, l'étude de la déformation par translation proportionnelle nous a montré que la particule complexe ne pouvait se transformer en particule symétrique que si le plan de glissement était un plan diamétral, ou si l'arête de glissement était un diamètre. Il va nous suffire d'appliquer ce résultat pour en tirer la conclusion cherchée.

Considérons la calcite, par exemple, dont la maille est un rhomboèdre de 105°5′.

Les plans b^1 étant susceptibles d'être des plans de glissement sont des plans diamétraux de la particule complexe, ayant pour directions conjuguées les diagonales des faces p qui rencontrent l'axe ternaire. Comme la déformation est également de première espèce, les diamètres de la maille paral-

lèles aux arêtes culminantes sont des diamètres de la particule ayant pour plans conjugués les faces *p*.

Or, au moyen d'une simple figure, on voit de suite que des résultats précédents résulte que les autres plans diamétraux, les autres diamètres de la maille sont également des plans diamétraux, des diamètres de la particule, en ce qui concerne les centres de gravité des molécules.

Par conséquent, les éléments de symétrie de la maille de 105°5' sont des éléments de symétrie de la particule et de l'édifice, les éléments diamétraux de cette maille sont des éléments diamétraux de la particule et de l'édifice cristallin. Mais, bien entendu, il n'est question ici que de la répartition des centres de gravité des molécules, car si ces molécules sont symétriquement orientées relativement aux plans b^1, elles ne peuvent l'être par rapport aux autres éléments diamétraux, qui ne font pas avec les plans b^1 et les éléments de symétrie de la maille les mêmes angles que les éléments de symétrie d'un polyèdre.

On arriverait à la même conclusion pour un grand nombre de cristaux, sans toutefois pouvoir l'établir d'une façon générale, puisque l'on n'a pas pu jusqu'ici déterminer des macles secondaires dans tous les cristaux. Mais il y a tout lieu de penser que cette conclusion est générale, puisqu'elle revient à établir une relation étroite entre la répartition des molécules et la forme du réseau : les rangées du réseau sont parallèles aux droites joignant deux à deux les centres de gravité des molécules de la particule.

Mais, si l'on n'admet pas la généralité de ces conclusions, il n'en résulte pas moins que des corps, dont la maille diffère notablement d'un cube, peuvent être, au point de vue de leur structure, considérés comme des corps cubiques déformés, c'est-à-dire dont les éléments de symétrie sont remplacés par des éléments diamétraux et ces corps établissent un passage

entre les cristaux appartenant aux différents systèmes cristallins.

Conditions de formation des macles secondaires. — Les considérations qui précèdent vont nous permettre de préciser les conditions que doivent remplir les éléments diamétraux d'un corps cristallisé pour qu'il puisse se produire des macles secondaires.

Remarquons tout d'abord que si, *théoriquement,* il est nécessaire que les molécules soient rigoureusement symétriques relativement à l'élément diamétral, pratiquement, il n'en est pas de même, par suite d'une propriété générale des corps. Il ne faut pas oublier, en effet, que, si l'on exerce un effort mécanique sur un corps, on le déforme, c'est-à-dire que l'on déplace ses molécules, on les fait légèrement tourner autour de leur centre de gravité et, tant que l'on n'a pas dépassé la limite d'élasticité, si l'action cesse, les molécules sous l'influence de leurs actions réciproques reviennent d'elles-mêmes à leur position d'équilibre. Cette propriété peut intervenir dans la formation des macles secondaires; si, en effet, avant la déformation, les molécules ne sont pas rigoureusement symétriques relativement à l'élément diamétral, la translation ne les amènera pas dans une orientation rigoureusement symétrique de leur orientation primitive, mais, en vertu de leurs actions mutuelles, les molécules viendront prendre cette orientation symétrique, qui est leur position d'équilibre.

Ceci posé, en général, si les molécules sont symétriquement orientées relativement à un élément diamétral, elles ne le seront pas relativement à un autre, puisque ces éléments n'ont pas la position relative de deux éléments de symétrie. Il ne pourra donc, en général, se produire qu'une seule espèce de macle secondaire, en considérant comme de même espèce les macles relatives à des plans ou droites symétriques les uns des autres par rapport aux éléments de symétrie du cristal;

telles les macles ayant pour plans de glissement les trois plans b^1 de la calcite.

Mais, si deux éléments diamétraux occupent sensiblement la même position relative que deux éléments de symétrie, en vertu de la tolérance qui vient d'être indiquée, ils pourront être tous les deux des éléments de macles secondaires.

Comme exemple, on peut citer le chlorure de baryum, dans lequel les plans de glissement font entre eux un angle de 91°5', au lieu de 90°, le chloroaluminate de calcium dans lequel les plans de glissement font entre eux un angle voisin de 120°, le sulfate double de potassium et de calcium, dans lequel le plan de glissement de la macle de seconde espèce fait avec l'arête de glissement de la macle de première espèce un angle de 88°1' au lieu de 90°. Au contraire, dans la calcite, il ne pourra se produire qu'une seule espèce de macle.

En terminant, il n'est pas inutile de remarquer que les résultats auxquels nous sommes parvenus expliquent très naturellement la remarque faite par M. Mügge que, très souvent, lorsqu'il y a deux déformations possibles, le plan de glissement de l'une coïncide avec le plan de nulle déformation de l'autre, et inversement. Ce fait résulte de ce que, dans un parallélépipède, un diamètre et un plan diamétral sont conjugués, c'est-à-dire que la direction conjuguée au plan est parallèle au diamètre et le plan conjugué au diamètre est parallèle au plan diamétral.

Structure des corps mériédriques. — Les résultats généraux auxquels nous sommes parvenus, concernant la structure des corps cristallisés, demandent quelques éclaircissements relativement aux corps possédant une structure mériédrique. Dans ceux-ci, en effet, le réseau possède un élément de symétrie qui, faisant défaut dans la particule complexe, doit y être remplacé par un élément diamétral. Or, un élément de symétrie d'un réseau est perpendiculaire sur sa direction conjuguée;

il doit donc en être de même de la particule complexe. Comment se fait-il que dans celle-ci on ne constate pas d'élément de symétrie? Cette antinomie provient simplement de ce que dans la symétrie non seulement les centres de gravité des molécules sont symétriquement placés, mais encore les molécules auxquelles ils appartiennent sont symétriquement orientées. Au contraire, lorsqu'un corps cristallisé possède un élément diamétral, les centres de gravité sont diamétralement placés, mais les molécules ne sont pas forcément orientées symétriquement. Par conséquent, dans un cristal à structure mériédrique, les molécules peuvent avoir leurs centres de gravité placés symétriquement par rapport à l'élément du réseau faisant défaut à la particule, mais ne pas être symétriquement orientées. Les corps mériédriques ne diffèrent des corps holoédriques que par ce changement d'orientation.

Ces conclusions se trouvent parfaitement confirmées par la possibilité de déterminer des macles par actions mécaniques sans déformer le réseau, comme on l'a vu dans la boracite et les acétates triples.

DU POLYMORPHISME.

Les résultats que nous a fournis l'étude des macles secondaires va nous permettre de donner une explication très simple du polymorphisme. Bien entendu, il ne s'agit pas ici d'une théorie; tant que nous ne saurons pas pourquoi un corps adopte une structure cristalline plutôt qu'une autre, on sera dans l'impossibilité de démontrer que ce corps est susceptible d'adopter plusieurs structures et d'établir les relations existant entre ces dernières. Mais, dans cette question si complexe du polymorphisme, il est cependant un point que l'on peut éclaircir. Lorsqu'il y a polymorphisme direct, suivant l'expression de M. Wyrouboff, c'est-à-dire lorsque le

réseau reste sensiblement le même dans le passage d'une forme à l'autre, on peut se rendre compte de la nature de la transformation amenant l'apparition ou la disparition des éléments de symétrie. Comme on le voit, c'est le problème soulevé par Mallard, qui trouve sa véritable solution dans l'étude des macles secondaires.

M. Mügge a constaté en effet que presque toujours, avant le passage de la forme la moins symétrique à la forme la plus symétrique, il se produit des macles secondaires, dans lesquelles les cristaux sont symétriques relativement aux rangées, aux plans réticulaires, qui vont devenir des axes binaires ou des plans de symétrie, dans la forme la plus symétrique. Or on a vu plus haut qu'un plan réticulaire ne peut être un plan de symétrie d'une macle secondaire, que s'il est un plan diamétral de la particule complexe, la direction conjuguée étant celle de la rangée principale; c'est-à-dire que, dans la particule, des molécules symétriques, à peu près symétriquement orientées, doivent être diamétralement placées, les droites joignant les centres de gravité étant parallèles à la rangée principale. De même une rangée ne peut être un axe de macle secondaire que si les molécules de la particule sont symétriquement orientées relativement à cette rangée, leurs centres de gravité étant diamétralement placés par rapport à cette même rangée, le plan conjugué étant le plan de nulle déformation.

De plus l'observation nous apprend que, lors du passage de la forme la moins symétrique à la forme la plus symétrique, lorsqu'un plan de macle devient un plan de symétrie, en même temps la rangée principale devient perpendiculaire sur ce plan, et de même, quand une rangée devient un axe binaire, le plan de nulle déformation lui devient perpendiculaire.

On voit donc que, dans le passage de la forme la moins symétrique à la forme la plus symétrique, la déformation con-

siste en ceci, que les molécules symétriquement orientées, mais diamétralement placées, se déplacent, parallèlement à ellesmêmes, d'une quantité qui nous est donnée par la déformation du réseau, de façon à venir occuper des positions symétriques : autrement dit la forme la moins symétrique possède comme éléments diamétraux les droites et plans qui sont des éléments de symétrie dans la forme la plus symétrique et si des macles se produisent, quand on approche du point de transformation, cela tient en grande partie à ce que la rangée principale se rapprochant de plus en plus de la normale au plan de macle, la translation, nécessaire pour amener le cristal dans une position symétrique, devient de plus en plus petite.

Comme on le voit, la déformation de la particule est non seulement de même nature, mais encore de même ordre de grandeur que celle du réseau, pour la raison bien simple que c'est la déformation de la particule qui entraîne celle du réseau. En particulier, il n'est nullement nécessaire de faire appel à des rotations multiples des molécules.

Pour bien faire comprendre la question, il ne sera peut-être pas inutile de prendre un exemple, le chloroaluminate de calcium, cristal monoclinique à la température ordinaire et qui devient rhomboédrique à la température de 36°. Comme il a été établi par MM. Friedel et Mügge, le cristal monoclinique se macle avec la plus grande facilité suivant les plans **(310)** et **($3\bar{1}0$)**, qui font avec le plan de symétrie des angles très voisins de 60°, et dans ces déformations les rangées principales ont pour notations **(110)** et **($1\bar{1}0$)**.

En outre, il se produit des macles de première espèce ayant pour axes précisément les rangées **(110)** **($1\bar{1}0$)**, les plans de nulle déformation étant les plans réticulaires **(310)** et **($3\bar{1}0$)**. Par conséquent les plans **(310)** et **($3\bar{1}0$)** sont des plans diamétraux et les rangées **(110)** et **($1\bar{1}0$)** des diamètres du corps cristallisé.

Or, quand on chauffe le cristal à 36°, les rangées (110) et $(1\bar{1}0)$ deviennent perpendiculaires sur les plans (310) et $(3\bar{1}0)$, et par conséquent les plans diamétraux et les diamètres deviennent des plans de symétrie et des axes binaires faisant des angles de 60° avec le plan de symétrie du cristal monoclinique, qui par suite se transforme en cristal rhomboédrique. La transformation inverse a lieu quand on refroidit ce cristal rhomboédrique, qui redevient monoclinique.

Dans l'ancienne explication, il fallait admettre que certaines molécules du chloroaluminate tournaient de 120° autour de la droite destinée à devenir un axe ternaire, que d'autres, après cette rotation de 120°, tournaient de 180° autour des droites ayant pour notations (110) et $(\bar{1}10)$, de façon à donner à la nouvelle particule la symétrie ternaire; et il était impossible d'entrevoir les rapports existant entre ces rotations et la déformation du réseau. Au contraire, dans l'explication proposée aujourd'hui, la déformation de la particule se retrouve complètement, comme nature et comme grandeur, dans la déformation du réseau.

Résumé. — En terminant, je désirerais résumer les arguments en faveur de la théorie qui vient d'être exposée.

1° Cette théorie a ce grand avantage d'expliquer la formation des macles secondaires, en ne faisant appel qu'à la déformation par translation proportionnelle, qui seule nous est révélée par l'observation.

2° Elle nous explique pourquoi un corps cubique ne peut être maclé par actions mécaniques, puisque la particule complexe cubique holoédrique ne peut avoir d'élément diamétral.

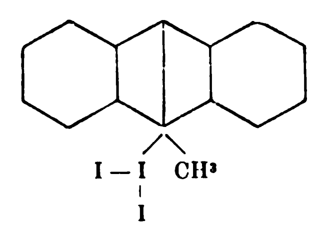
3° De même, d'après cette théorie, les macles octaédriques et trapézoédriques, c'est-à-dire ayant pour éléments de symétrie les plans réticulaires et les rangées, dont les caractéristiques sont les nombres 1, 1, 1, ou 2, 1, 1, pris dans un ordre quelconque avec le signe ±, ne peuvent être obtenues par

de Mallard construit par la Société genevoise des instruments de physique. Chaque mesure est la moyenne de trois déterminations faites par répétition. La notation est celle de Miller.

Tout le travail a été exécuté dans le laboratoire de Minéralogie et de Pétrographie de l'Université de Genève, et je suis heureux d'exprimer ici ma plus vive reconnaissance au directeur de ce laboratoire, M. le professeur L. Duparc, qui m'a donné les moyens de mener à bien ce travail.

Genève, 1904.

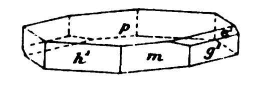
IODOMÉTHYLATE DIIODIQUE DE PHÉNYLACRIDINE.



Ce corps, préparé par M. Hoch (*Berichte*, t. XXXV), cristallise par évaporation de la solution de l'iodométhylate de phénylacridine dans du chloroforme contenant deux parties d'iode.

Les cristaux, rouges et transparents, ont la forme de

Fig. 1.



tablettes aplaties suivant la base $p = (001)$, toujours largement développée. Les autres faces, à savoir : le protoprisme

$m = (110)$, le brachypinacoïde $g^1 = (010)$, le macropinacoïde $h^1 = (100)$, sont étroites et petites. Sur 20 cristaux j'ai trouvé une seule fois une face de brachydôme $e^1 = (011)$ avec sa parallèle seulement assez bien développées.

Système orthorhombique.

$a : b : c = 0,6196 : 1 : 0,3146.$

	Angles des normales. Mesurés.	Calculés.
(110)(010)	*58°13'	
(011)(010)	*72°32'	
(011)(110)	80°56'	80°55'

*
* *

AZOTATE D'ÉTHER *p*-DIÉTHYLIQUE DE *p*-THYMOQUINONE-NITRATE THYMOLYLIMIDE-OXYDE.

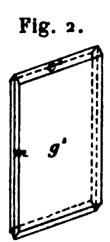
NO³ — O = (C^2H^5) ... CH^3 ... O = N — ... CH^3 ... — O — H (C^2H^5, NO^3)
CH (CH³ CH³) ... CH (CH³ CH³)

Ce corps a été préparé par MM. Decker et Solonina ([1]) en ajoutant par petites portions, à une solution de 6g d'éther thymolique dissous dans 24g d'acide acétique glacial, une solution acétique d'acide nitrique de densité 1,47 et renfermant beaucoup de vapeurs nitreuses. On opère à froid et on

([1]) *Berichte der Chemie G.*, t. XXXV, p. 3218, 1902; *Bul. soc. Chim.*, 3e série, t. XXX, 1902, p. 1005.

laisse le mélange sur la glace pendant 3 ou 4 heures. Il se dépose alors des cristaux ayant l'aspect de paillettes très minces, non transparentes, avec reflet métallique. Ils sont

Fig. 2.



allongés suivant l'arête h^1g^1, et formés par le brachypinacoïde $g^1 = (010)$ très développé, le protoprisme $m = (110)$ et le brachydôme $e^1 = (011)$ excessivement étroit.

Système orthorhombique.

$a : b : c = 0,3233 : 1 : 1,1175.$

	Angles des normales.	
	Observés.	Calculés.
(110)(010)..................	*72°5'	
(011)(010)..................	*40.24	
(011)(110)..................	76.20	76°27'

* * *

DIÉTHOXY-DITHYMOLAMINE.

CH^3 CH^3 — CH^3 CH^3

CH — CH

H

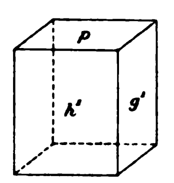
C^2H^5O — C_6H_2 — N — C_6H_2 — OC^2H^5.

CH^3 — CH^3

Ce corps a été obtenu par la réduction du corps précédent au moyen de $2SnCl^2 + 5HCl$. Il a été recristallisé d'une solution alcoolique.

Les cristaux incolores et transparents sont formés par la

Fig. 3.



combinaison des trois pinacoïdes $p = (001)$, $h^1 = (100)$ et $g^1 = (100)$. Ils sont aplatis suivant $h^1 (100)$, et allongés suivant l'arête $h^1 g^1$.

Système triclinique.

ZY = 91°41′, ZX = 96°24′, XY = 88°22′.

	Angles des normales. Mesurés.	Calculés.
	° ′	
(001)(100).................	83.38	
(001)(010).................	89. 7	
(010)(100).................	91.30	

Remarque. — Au microscope les extinctions sur les faces p, g^1, h^1 sont obliques.

*
* *

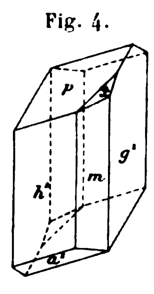
ÉTHOXY-THYMOQUINONE-THYMOLIMIDE.

$$\begin{array}{ccc} CH^3\,CH^3 & & CH^3\,CH^3 \\ \diagdown\!\diagup & & \diagdown\!\diagup \\ CH & & CH \\ C^2H^5O\,\langle\ \ \rangle & -\,N= & \langle\ \ \rangle = O. \\ CH^3 & & CH^3 \end{array}$$

Pour obtenir ce composé on dissout le corps précédent dans l'alcool à 38 pour 100 et l'on ajoute, à la température ordinaire et par petites portions, une solution alcoolique de Fe^2Cl^6. En diluant ensuite le mélange avec de l'eau il se précipite une poudre rouge, qui se dépose après 2 ou 3 jours en cristaux rouges; ceux-ci peuvent être recristallisés d'une solution alcoolique.

Les cristaux de couleur rouge foncé, sont légèrement transparents, et très stables. Ils présentent la combinaison du macropinacoïde $h^1 = (100)$ très développé, du brachypinacoïde $g^1 = (010)$ assez bien développé, de la base $p = (001)$, du protohémiprisme droit $m = (110)$, de l'hémimacrodôme pos-

Fig. 4.



térieur $a^1(\bar{1}01)$ petit et enfin de la quartobrachypyramide $x = (343)$, supérieure droite très mal développée et très petite. Les cristaux sont allongés suivant l'arête h^1g^1.

Système triclinique.

ZX = 123°20′; ZY = 75°1′10″; XY = 84°21′17″.

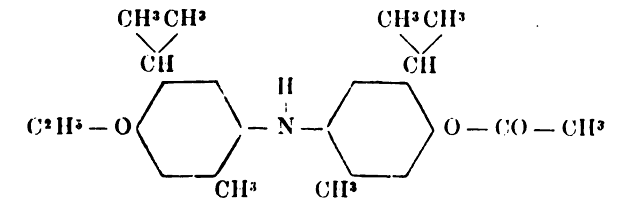
$a : b : c : = 1,3220 : 1 : 1,5262.$

	Angles des normales. Mesurés.	Calculés.
(110)(010)................	*48°.28′	
(001)(0$\bar{1}$0)................	*67.55	
(100)(0$\bar{1}$0)................	*72.40	
(001)(100)................	*53.16	
(100)(10$\bar{1}$)................	*57.16	
(001)(110)................	60.49	60°.53′
(010)(343)................	61.21	61.57
(001)(343)................	58. 3	59.17
(100)(343)................	53. 4	54.57
(343)(10$\bar{1}$)................		56.55
(10$\bar{1}$)(110)................		87.37
(10$\bar{1}$)(010)................		87.20

Remarque. — La mesure des angles : gx, px, xh, n'est pas bonne, vu l'état de la face x.

*
* *

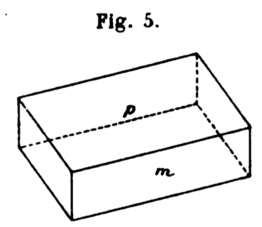
p-ACÉTYLTHYMOLYL-ÉTHYLTHYMOLYLAMINE.



En acétylant la diéthoxy-dithymolamine, on obtient au moins trois substances, dont l'une est la *paraacétyl-éthoxy-dithymolamine*. Ce corps cristallise en tablettes incolores et transparentes qui rougissent légèrement à l'air.

Les cristaux sont formés par la réunion du protoprisme $m = (110)$ avec la base $p = (001)$. Ils sont aplatis suivant

Fig. 5.



cette base largement développée. On constate parfois la présence de deux petites facettes qui sont peut-être celles d'un clinodôme ; elles ne se prêtent pas aux mesures.

Système monoclinique.

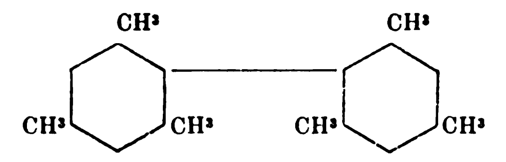
$$ZX = 98^\circ 10'.$$

$$a : b : c = 0,7780 : 1 : \ldots\ldots\ldots$$

	Angles des normales.	
	Mesurés.	Calculés.
	° ′	
110)(1$\bar{1}$0)................	*75.13	
110)(001)................	*83.32	

∴

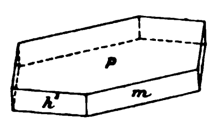
2-4-6-2'-4'-6' HEXAMÉTHYL-BIPHÉNYLE.



Ce corps a été obtenu par M. G. Meyer ([1]). Pour le préparer, on prend 8g d'iodomésitylène, que l'on chauffe à 230° dans une éprouvette; on y ajoute alors un poids égal de poudre de cuivre, puis on élève la température jusqu'à 260°, et l'on chauffe ainsi quelques minutes. On extrait ensuite le contenu du récipient par l'éther. La liqueur, desséchée par $CaCl^2$, est ensuite évaporée; le résidu est rectifié; la deuxième et la troisième fraction sont dissoutes dans l'alcool bouillant qui abandonne, par le refroidissement, le produit cristallisé.

Les cristaux transparents et incolores sont aplatis suivant

Fig. 6.



la base $p = (001)$ très développée. Les autres faces : $h^1 = (100)$ (orthopinacoïde) et $m = (110)$ (protoprisme), sont assez développées.

([1]) *Voir* G. MAYER, *Sur l'action des métaux sur les dérivées iodes aromatiques.* (Genève, Thèse.)

Système monoclinique.

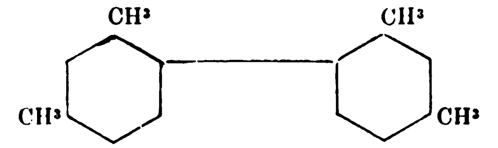
ZX = 93°48′.

$a : b : c = 1,2892 : 1 : ....$

	Angles des normales.	
	Mesurés.	Calculés.
(001)(100)................	*84°.12′	
(100)(110)................	*51.58	
(001)(110)................	86.26	86°.26′

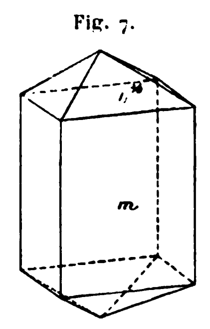
*
* *

2-4-2′-4′ TÉTRAMÉTHYL-BIPHÉNYLE.



Ce corps a été obtenu également par l'action de la poudre

Fig. 7.



de cuivre sur le métaxylène à 230°. La troisième et la quatrième fraction de la distillation abandonnent, au bout de

quelques jours, des cristaux incolores, que l'on redissout dans une quantité suffisante d'alcool chaud en laissant, ensuite, lentement refroidir.

Les cristaux transparents et incolores présentent la combinaison du protoprisme $m = (110)$ bien développé avec la protopyramide $b^{\frac{1}{2}} = (111)$ beaucoup plus petite et imparfaite. Les cristaux sont allongés suivant l'arête $h^1 g^1$.

Système orthorhombique.

$a : b : c = 0,6407 : 1 : 0,5019.$

	Angles des normales.	
	Mesurés.	Calculés.
(110)(1$\bar{1}$0)	*65°19'	
(110)(111)	*47.4	
(111)(1$\bar{1}$1)	43.3	43°8'
(111)($\bar{1}$11)	70	69.59
(111)(1$\bar{1}$0)	73.26	73.29

⁂

α-IONONEHYDROSULFONATE DE SODIUM.

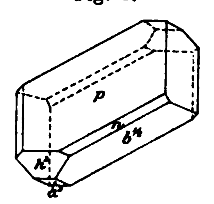
$C^{13}H^{21}O.SO^3Na + 1\frac{1}{2}H^2O.$

Ce sel, préparé par M. le D^r Chuit (*Revue générale de Chimie pure et appliquée,* 1903), est celui qui se produit par la dissolution de l'α-ionone dans le bisulfite de sodium à l'ébullition.

Recristallisé en solution alcoolique, il donne des cristaux toujours maclés, tandis que la solution aqueuse donne des cristaux en majeure partie simples. Ces derniers sont transparents, incolores et présentent les faces suivantes : la base $p = (001)$ très développée; l'orthopinacoïde $h^1 = (100)$ petit;

l'orthodôme postérieur $a^1 = (10\bar{1})$ très petit ; la protohémipyramide postérieure $b^{\frac{1}{2}} = (11\bar{1})$ bien développée ; l'hémi-

Fig. 8.



pyramide antérieure très étroite $n = (331)$. Les cristaux sont fortement aplatis suivant la base $p = (001)$.

La macle se fait par hémitropie normale avec la face de jonction parallèle à la base (001).

Système monoclinique.

ZX = 102°42′.

$a : b : c = 1,5185 : 1 : 1,5246.$

	Angles des normales.	
	Mesurés.	Calculés.
(001)(100)............	*77°18′	
(11$\bar{1}$)(1$\bar{1}\bar{1}$)............	*99.50	
(001)(11$\bar{1}$)............	*113.38	
(100)(11$\bar{1}$)............	66.12	66°12′
(001)(331)............	72.38	72.43
(331)(3$\bar{3}$1)............	105.36	105.46
(100)(331)............	54.43	54.43
(331)(1$\bar{1}\bar{1}$)............	117.35	117.40
(100)(10$\bar{1}$)............	51.12	51.11.30
(331)(10$\bar{1}$)............	77.10	76.56

β-IONONEHYDROSULFONATE DE CALCIUM INSTABLE.

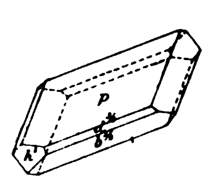
$(C^{13}H^{21}O.SO^{3})^{2}Ca + 4H^{2}O.$

Cette combinaison a été préparée en précipitant une solution du sel correspondant de sodium de la β-ionone par du chlorure de calcium.

Les cristaux sont transparents et incolores ; la solution alcoolique, aussi bien que la solution aqueuse, donnent toujours une quantité notable de cristaux maclés.

Les cristaux simples présentent les faces suivantes : la

Fig. 9.



base $p = (001)$ très développée ; l'orthopinacoïde $h^{1} = (100)$ petit; la protohémipyramide postérieure $b^{\frac{1}{2}} = (11\bar{1})$ bien développée; l'hémipyramide antérieure $d^{\frac{3}{2}} = (113)$ très étroite.

Les cristaux sont aplatis suivant la base $p = (001)$.

La macle se fait par hémitropie normale ; la face de jonction est parallèle à la base $p = (001)$.

Système monoclinique.

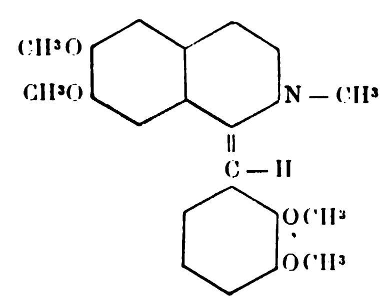
$ZX = 100°33'.$

$a : b : c = 1,7836 : 1 : 1,2223$

	Angles des normales.	
	Mesurés.	Calculés.
(001)(100)................	*79°27′	
(11$\bar{1}$)(1$\bar{1}\bar{1}$)................	*94.52	
(001)(11$\bar{1}$)................	*122.25	
(100)(11$\bar{1}$)................	*72. 5	72° 5′
(001)(113)................	23.44	23.45
(113)(1$\bar{1}$3)................	41.13	41.13
(100)(113)................	68.44	68.49
(113)(1$\bar{1}\bar{1}$)................	131.50	131.56

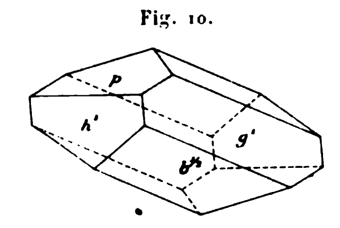
*
* *

n-MÉTHYL-ISOPAPAVÉRINE.



Ce corps, obtenu par MM. Decker et Klauser, a été recristal-

Fig. 10.



lisé d'une solution alcoolique. Les petits cristaux jaunes et

transparents sont très hygroscopiques; ils perdent bien vite leur éclat, se liquéfient et deviennent noirs. Ils réfléchissent mal la lumière et ne permettent pas de faire des mesures bien exactes. Ces cristaux présentent les faces suivantes : la base $p = (001)$ et l'orthopinacoïde $h^1 = (100)$ petits de même que le clinopinacoïde $g^1(010)$, par contre la protopyramide inférieure $b^{\frac{1}{2}} = (11\bar{1})$ est largement développée.

Système monoclinique.

ZX = 96°15'.

$a : b : c = 0,8842 : 1 : 0,8188.$

	Angles des normales.	
	Mesurés.	Calculés.
(001)(100)...............	*83°.15'	
(11$\bar{1}$)(001)...............	*126.12	
(11$\bar{1}$)(010)...............	*57.41	
(100)(11$\bar{1}$)...............	57.25	58°. 8'
(11$\bar{1}$)(1$\bar{1}\bar{1}$)...............		80.12

∴

PARAIODOÉTHYLATE DE MÉTOXYQUINOLÉINE.

Ce corps, dissous dans l'alcool chaud, cristallise par refroidissement et évaporation lente de la solution.

Les cristaux jaunes et transparents présentent la combinaison de deux hémipyramides : la protohémipyramide antérieure $d^{\frac{1}{2}} = (111)$ et l'hémipyramide postérieure $b^{\frac{1}{2}} = (11\bar{1})$.

Fig. 11.

très développées avec la base $p = (001)$ et l'orthopinacoïde $h^1 = (100)$ toujours petites. On rencontre aussi mais très rarement un prisme qui n'est pas en zone avec les hémipyramides.

Système monoclinique.

ZX = 93°24'.

$a : b : c = 1,2249 : 1 : 1,1270.$

	Angles des normales.	
	Mesurés.	Calculés.
$(001)(100)$	*86°36'	
$(001)(111)$	*54. 1	
$(111)(1\bar{1}1)$	*77.38	
$(111)(100)$	56.56	56°56'
$(11\bar{1})(1\bar{1}\bar{1})$	80.56	80.58
$(100)(1\bar{1}\bar{1})$	60.12	60.13
$(111)(11\bar{1})$	69.11	69. 3

IODO-ÉTHYLATE DE KAIROLINE.

Ce corps peut être préparé de deux manières : ou bien en ajoutant à froid de l'iodure d'éthyle à la kairoline ou bien en ajoutant un excès d'iodure de méthyle à la N-éthyltétrahydroquinoléine.

On a supposé que les corps qui se formaient dans ces deux réactions, sont stéréoisomères, et l'on admettait que, l'azote étant asymétrique dans ces combinaisons, c'est grâce à la disposition différente des groupes autour de l'azote qu'elles se distinguent l'une de l'autre. Les mesures des angles des cristaux obtenus par recristallisation de ces deux corps en solution alcoolique ont donné des valeurs absolument identiques pour les deux, ce qui permet de conclure que ceux-ci sont identiques.

Kairoline :

H^2 H^2 H^2 N — CH^3 $+ C^2H^5I \rightarrow$

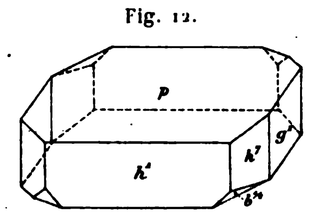
n-éthyltétrahydroquinoléine :

H^2 H^2 H^2 N — C^2H^5 $+ CH^3I \rightarrow$

H^2 H^2 H^2 N — I, CH^3 C^2H^5

Les cristaux sont jaunes, transparents, limités par les faces suivantes : la base $p = (001)$ largement développée, l'orthopinacoïde $h^1 = (100)$ et le clinopinacoïde $g^1 = (010)$ assez bien

Fig. 12.



développés de même que le prisme $h^7 = (430)$; enfin la protohémipyramide inférieure qui est plus petite $b^{\frac{1}{2}} = (11\bar{1})$. Les cristaux sont aplatis suivant la base $p = (001)$.

Système monoclinique.

ZX = 119°54′.

$a : b : c = 0,8214 : 1 : 0,9728.$

	Angles des normales. Mesurés.	Calculés.
(001)(100)	*60°. 6′	
(001)(11̄1)	*118.52	
(11̄1)(1̄1̄1)	*85.10	
(100)(430)	28. 6	28°. 6′
(001)(430)	63.49	63.55
(11̄1)(430)	57.29	57.53
(430)(1̄11)	95.50	96. 4
(100)(11̄1)	75.58	76. 2

IODOMÉTHYLATE DE KAIROLINE.

H^2

H^2

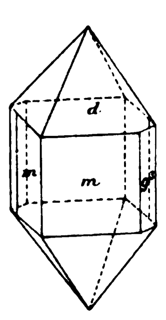
H^2

N

I CH^3 CH^3

Ce corps a été obtenu par M. Eliasberg en mélangeant directement la kairoline avec CH^3I. Je n'avais à ma disposition qu'un seul cristal volumineux (4^{mm}) qui présentait la

Fig. 13.



combinaison du protoprisme $m = (110)$ avec la protopyramide $d^{\frac{1}{2}} = (111)$ auxquelles s'ajoute un brachyprisme $g^3 = (120)$ très étroit ; les facettes sont assez larges, mais réfléchissent très mal la lumière.

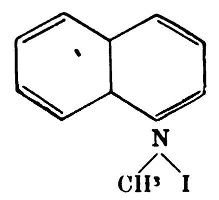
Système orthorhombique.

$a : b : c = 0,6843 : 1 : 1,2310.$

	Angles des normales.	
	Mesurés.	Calculés.
	° ′	
$(110)(1\bar{1}0)$	*68.46	
$(111)(1\bar{1}1)$	*61.46	° ′
$(110)(111)$	24.30	24.38
$(110)(120)$	19.28	19.28
$(111)(120)$	31. 1	31. 1
$(1\bar{1}1)(120)$	88. 2	87.40
$(110)(1\bar{1}\bar{1})$	70.50	70.47

*
* *

IODOMÉTHYLATE DE QUINOLÉINE.

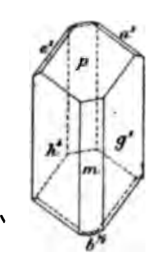


Ce corps, obtenu par M. Decker, a été recristallisé de la solution alcoolique.

Les cristaux jaunes, transparents, toujours volumineux, présentent la combinaison des trois pinacoïdes $p = (001)$, $h^1 = (100)$ et $g^1 = (010)$ avec le protohémiprisme droit $m = (110)$, la protoquartopyramide inférieure droite $b^{\frac{1}{2}} = (11\bar{1})$, l'hémi-

macrodôme inférieur $a^1 = (101)$ et l'hémibrachydôme inférieur droit $e^1 = (0\bar{1}\bar{1})$. Les trois premières faces sont très

Fig. 14.



bien développées, les autres faces sont beaucoup plus petites.

Les cristaux sont fortement allongés suivant l'arête $h^1 g^1$.

Système triclinique.

ZX = 112°24′; ZY = 115°30′; XY = 40°3′.

$a : b : c = 0{,}8395 : 1 : 0{,}6368$.

	Angles des normales.	
	Mesurés.	Calculés.
(001)(100)	*84°.55′	
(001)(010)	*76.30	
(100)(010)	*136. 7	
(110)(010)	*78.39	
(100)(10$\bar{1}$)	*45.36	
(001)(110)	65.51	65°.50′
(110)(11$\bar{1}$)	69.24	69.23

	Angles des normales.	
	Mesurés.	Calculés.
(100)(11$\bar{1}$)...............	71° 5′	71° 5′
(010)(11$\bar{1}$)...............	94.59	95. 1
(010)(01$\bar{1}$)...............	55	54.59
(110)(10$\bar{1}$)...............	83.15	83.17
(110)(01$\bar{1}$)...............	100.54	101. 8
(10$\bar{1}$)(01$\bar{1}$)...............	90.29	90.19
(00$\bar{1}$)(11$\bar{1}$)...............	57.55	57.58
(10$\bar{1}$)(11$\bar{1}$)...............	40.45	40.50
(10$\bar{1}$)(010)...............	135.50	135.51
(01$\bar{1}$)(100)...............	129. 7	129. 3

* * *

6-MÉTHYL-IODOMÉTHYLATE DE 5-NITROQUINOLÉINE.

NO^2

CH^3

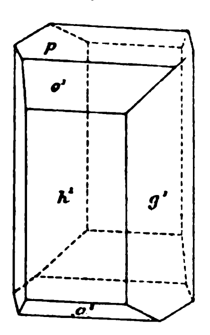
N

CH^3 I

Ce corps, préparé par M. Decker, cristallise immédiatement par refroidissement des solutions aqueuse ou alcoolique assez concentrées. Les cristaux sont volumineux, mais toujours très imparfaits, avec les faces ternes réfléchissant mal la lumière. J'ai préparé plusieurs solutions dans l'eau et dans un mélange d'eau et d'alcool; au bout de deux semaines, une solution aqueuse très diluée m'a donné de jolis cristaux jaune orange présentant les faces suivantes : l'orthopina-

coïde h^1 = (100), l'hémiorthodôme antérieur o^1 = (101), l'hémiorthodôme postérieur a^1 = (10$\bar{1}$), le protoprisme m = (110),

Fig. 15.



tous très développés; puis la base p = (001) beaucoup plus petite et moins brillante.

Les cristaux sont allongés suivant $h^1 g^1$.

Système monoclinique.

ZX = 108°6'.

: b : c = 1,5686 : 1 : 0,9993.

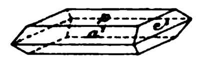
	Angles des normales. Mesurés.	Calculés.
(001)(100)	*26°.49'	
(101)(100)	*45. 5	
(100)(110)	*56. 9	
(100)(10$\bar{1}$)	70.48	71°. 3'
(101)(110)	66.55	66.53
(001)(110)	79.58	80. 3
(10$\bar{1}$)(110)	80	79.32

OXYDE DE STRYCHNINE.

Ce corps, produit par l'action de l'eau oxygénée sur la strychnine, a été préparé par MM. Pictet et Mattisson.

Les cristaux, transparents et légèrement brunâtres, présentent la combinaison de la base $p = (001)$ avec le macrodôme $o^1 = (101)$ et le brachydôme $e^1 = (011)$, tous très bien développés. Ces cristaux sont allongés suivant l'arête ph^1 et aplatis suivant la base p. Leurs dimensions oscillent entre 5mm et 8mm.

Fig. 16.



Système orthorhombique.

$a : b : c = 2,1280 : 1 : 2,5300.$

	Angles des normales.	
	Mesurés.	Calculés.
(001)(101)................	*49°.56′	
(001)(011)................	*68.26	
(011)(101)................	76.14	76°.19′

Sur des cristaux de vivianite produite aux dépens d'ossements.

Par M. Paul Gaubert.

M. Guérin, directeur du laboratoire central de Chimie du Guatémala, a envoyé au Muséum d'Histoire naturelle une

grande quantité d'échantillons de vivianite, que mon savant Maître, M. le Professeur Lacroix, m'a chargé d'examiner.

La vivianite de ce nouveau gisement a une origine tout à fait particulière; elle provient, en effet, de la transformation du squelette de mastodonte, et cependant, malgré ce mode de formation, qui paraît peu favorable à la production de beaux cristaux, ces échantillons fournissent des cristaux qui peuvent rivaliser en perfection avec ceux des gisements de Cransac, de Commentry, du Cornwall, etc.

Cette formation de beaux cristaux est à rapprocher de celle de ceux de métabrushite, observée par M. A. Lacroix (1), aux dépens de cadavres enfermés depuis trois siècles environ dans un cercueil de plomb.

La production de vivianite sur des ossements a déjà été mentionnée par Rouault (2) et surtout par Haidinger (3), qui a constaté que ce minéral s'était formé aux dépens des ossements d'un mineur enseveli sous un éboulement ancien à la mine de Tarnowitz. Les cristaux de vivianite étaient assez beaux, atteignaient deux lignes et ressemblaient à du gypse. Ceux du Guatémala, aplatis suivant g^1, ont aussi beaucoup de ressemblance avec ce dernier.

Nicklès (4) a aussi trouvé de la vivianite sur des os provenant du cimetière d'Eumont et M. A. Lacroix (5) a observé un fait semblable sur un fragment de molaire d'éléphant trouvé dans des graviers d'Arrauts, près d'Ustaritz aux environs de Bayonne.

Les cristaux de vivianite provenant du Guatémala sont souvent orientés de façon que leur axe vertical coïncide avec

---

(1) A. Lacroix, Ce *Bulletin*, t. XIV, 1891, p. 325.
(2) Rouault, *Bull. de la Soc. géol. de France*, 1846, p. 317.
(3) Haidinger, *Journ. f. prakt. Chemie*, t. XLVI, 1849, p. 181.
(4) Nicklès, *Comptes rendus*, t. XLI, p. 1169.
(5) A. Lacroix, Ce *Bulletin*, t. XX, 1897, p. 112.

l'axe longitudinal des os longs. Mais les deux autres axes des différents cristaux peuvent ne pas coïncider. Cependant, sur certains points, l'orientation de tous les axes est complète, et l'os paraît remplacé par un cristal unique polysynthétique dont l'axe vertical *c* a la même direction que le grand axe de l'os.

Dans les parties transformées des dents et des mâchoires, les cristaux sont aussi orientés et l'orientation est ici en rapport avec la structure de l'os.

Entre les cristaux de vivianite, on observe des petites masses de phosphate de chaux et des restes d'os. De la phosphorite ressemblant à de l'halloysite se trouve en grande quantité dans l'intérieur des dents qui n'ont pas été transformées en vivianite.

Les cristaux de vivianite atteignent 1cm dans le sens de l'axe vertical et sont aplatis suivant la face g^1 (010); les faces sont brillantes, bien qu'elles montrent de nombreuses faces vicinales plus ou moins arrondies.

Les mesures goniométriques ont permis de reconnaître dans les cristaux les plus riches en faces m (110), g^1 (010), h^1 (100), h^2 (310), $b^{\frac{1}{2}}$ (111) et a^1 (011). Dans beaucoup de cristaux, a^1 n'existe pas et quelquefois les faces h^1 et h^2 manquent.

La mesure des angles a fourni les résultats suivants :

	Angle des normales.
mm	71°.45′
mg^1	53.58
mh^1	35.50
mh^2	22.17
$mb^{\frac{1}{2}}$	45.53
h^1a^1	54.29

Les faces étant couvertes de faces vicinales, il est inutile

de calculer avec la valeur de ces angles les paramètres cristallographiques de cette vivianite.

La vivianite du Guatémala possède les propriétés de la vivianite des autres gisements, aussi je ne mentionnerai ici que la valeur des indices de réfraction qui n'avaient pas encore été déterminés dans ce minéral, à l'exception de l'indice moyen obtenu de la valeur de l'angle des axes optiques.

La détermination a été faite au moyen de lames de clivage de ces cristaux de vivianite et aussi sur ceux de Cransac qui, par leurs dimensions, se prêtent encore mieux aux mesures. Le réfractomètre dont je me suis servi est celui de M. C. Klein.

Vivianite du Guatémala.

$$n_g = 1{,}6268$$
$$n_m = 1{,}6032$$
$$n_p = 1{,}5768$$
$$n_g - n_p = 0{,}0500$$

Vivianite de Cransac.

$$n_g = 1{,}6267$$
$$n_m = 1{,}6030$$
$$n_p = 1{,}5766$$
$$n_g - n_p = 0{,}0501$$

Quant aux conditions de gisement de ces échantillons, l'extrait d'une lettre de M. Guérin nous renseigne à ce sujet :

« Les fragments fossiles qui ont été remis au Muséum ont été trouvés dans la hacienda San Sur, à environ 200^m du village de San Pablo, situé dans le département de San Marcos qui forme la frontière Ouest du Guatémala avec le Mexique. Ce département est situé sur le versant Pacifique et le village de San Pablo se trouve à environ 150^{km} de la mer.

» A environ 150^m de la maison d'habitation de cette

hacienda, existe un ravin assez profond et orienté du Nord au Sud; il a environ 7^m de large, et son fond est formé d'une grande quantité de cailloux roulés.

» Les restes fossiles ont été découverts dans une excavation faite au fond de ce ravin, et, au-dessus de ces restes, on a pu distinguer les couches suivantes :

» 1° Terre végétale peu épaisse;

» 2° Conglomérat argileux rougeâtre (épaisseur 1^m,50);

» 3° Argile plus claire, veinée transversalement de grès;

» 4° Une masse d'alluvion, purement locale, dans laquelle se trouvent ensevelis les restes fossiles, s'étendant perpendiculairement au ravin, de l'Est à l'Ouest, et d'environ 8^m de large sur 1^m de profondeur. En plus des fragments fossiles et des morceaux de mâchoires, on a aussi trouvé des troncs de bois, parfois carbonisés, et des empreintes de fruits, avec noyau pétrifié. »

Il est fort probable que la formation de la vivianite est due à l'action d'eaux ferrugineuses sur le phosphate de chaux du squelette. La quantité d'acide phosphorique qui se trouve dans un os de densité moyenne est suffisante pour transformer ce dernier en vivianite sans qu'il y ait changement sensible de volume et, par conséquent, de forme. Je ferai remarquer que, dans les parties intérieures des dents, on observe de la phosphorite ressemblant à de l'halloysite qui s'est conservée intacte bien qu'elle soit facilement attaquable à cause de sa structure. Elle est en effet formée d'éléments très petits et se réduit très facilement en poudre. Probablement les eaux ferrugineuses n'auront pas pu l'atteindre, étant protégée par la couche d'ivoire.

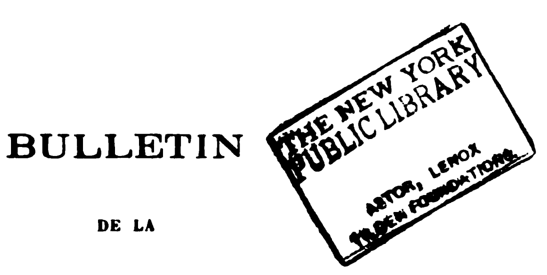
Le Secrétaire gérant :
MAURICE BLONDEL.

34644 Paris. — Imprimerie GAUTHIER-VILLARS, quai des Grands-Augustins, 55.

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE.



Année 1904. — Bulletin n° 8.

Compte rendu de la séance du 10 novembre 1904.

Présidence de M. Dufet.

M. le Président annonce une présentation.

M. A. Lacroix fait une Communication sur le sulfate de soude qu'il a observé dans les fumerolles secondaires de la Montagne Pelée et une autre sur divers minéraux produits accidentellement lors de l'incendie de Saint-Pierre (Martinique) consécutif au renversement de cette ville par l'éruption du 8 mai 1902.

M. Termier présente à la Société quelques échantillons de roches à glaucophane et de roches à riébeckite provenant des environs de Saint-Véran (Hautes-Alpes). Les roches à glaucophane sont des gabbros altérés. Les roches à riébeckite sont des schistes quartzeux formant un étage de 50^m à 100^m d'épaisseur dans la série des *Schistes lustrés*. La riébeckite s'y associe à de l'épidote fibreuse et à de la magnétite. Ce gisement est de tout point comparable à celui qui a été signalé par M. A. Lacroix, d'après le colonel Ply, dans les environs de Modane.

M. Wyrouboff expose ses recherches, non encore complètement terminées, sur l'isomorphisme entre les terres rares et les métaux bivalents. Les silicotungstates de CeO, DiO, LaO, qui ont, comme il l'a montré, même forme et même hydratation que le silicotungstate de calcium, cristallisent avec ce dernier sel en toutes proportions.

Sur des cristaux de bournonite d'Ally (Haute-Loire);

Par M. Ad. Richard.

M. le professeur Termier, dans la séance du 11 février dernier, a présenté à la Société de beaux cristaux de bournonite provenant des mines d'Ally (Haute-Loire). La bournonite forme un élément accessoire du remplissage d'un filon de quartz et boulangérite (filon Sainte-Cécile). Elle est parfois accompagnée de blende et de galène.

Les cristaux de bournonite, confusément groupés, forment

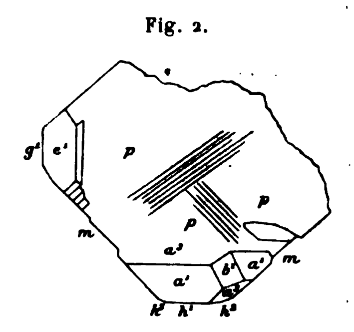
Fig. 1.

un échantillon actuellement exposé au Musée de l'École des Mines et qui a été offert à l'École par la Société minière et

métallurgique *L'Auvergne;* ce sont des prismes droits $p(001)$, $m(110)$ dont les quatre pans $m(110)$, sensiblement égaux, sont des rectangles hauts de 6^{mm} à 8^{mm} et d'une longueur triple environ. Ils portent les facettes $h^1(100)$, $h^3(210)$, $g^1(010)$, $a^2(102)$, $a^3(103)$, $a^1(101)$, $e^1(011)$, $b^1(112)$, $a_3(211)$.

Les faces $h^1(100)$, $g^1(010)$, $a_3(211)$ sont très brillantes et sans stries. Les faces $h^3(210)$, $m(110)$ ont aussi un vif éclat

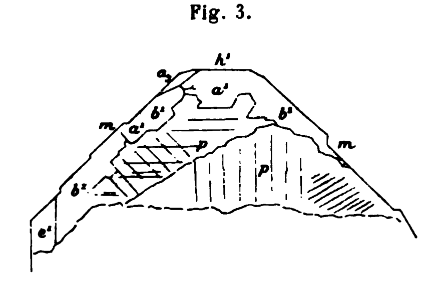
Fig. 2.



métallique, mais elles sont finement striées verticalement.

Toutes les autres faces ont peu ou point d'éclat, sont striées

Fig. 3.



ou comme rugueuses. Les faces $b^1(112)$ sont striées suivant leur intersection avec $a^1(101)$; les faces $p(001)$, fort

mauvaises, portent un double système de stries parallèles aux faces $m(100)$, quelquefois même en plus des stries parallèles à $h^1(100)$; les faces $a^1(101)$, $a^2(102)$, $a^3(103)$ sont striées seulement suivant leur axe de zone.

Angles des normales.

	Mesurés.	Calculés (1).
h^1h^3 (100)(210)	25°. 7′	25°. 8′
h^1m (100)(110)	43. 7	43.10
mm (110)($1\bar{1}0$)	86.13	86.20
h^1a_3(100)(211)	35. 3	35. 5
h^3a_3(210)(211)	25.17	25.45 (2)
ma_3 (110)(211)	30.39	30.45
h^1a^1(100)(101)	46.34	45.41 (2)
h^1a^3(100)(103)	72.14	72.17 (2)

Les figures ci-jointes représentent un cristal de bournonite d'Ally (il est impossible d'isoler du groupe un cristal complet). La figure 1 en perspective montre que des quatre faces a_3 qui devraient être en vue, il n'en existe que deux. Il en est ainsi pour tous les cristaux.

Sur la reproduction de l'aragonite;

Par M. L. Michel.

La reproduction de l'aragonite a donné lieu à de nombreux travaux.

G. Rose a montré que, par voie humide, on pouvait dans une même dissolution obtenir des cristaux de calcite et d'ara-

---

(1) A. Lacroix, *Minéralogie de la France*, t. II, p. 700.
(2) Nombres calculés par l'auteur.

gonite, qui se déposent en des points différents du vase suivant les conditions diverses de température du liquide. Des essais, très nombreux et très variés, de ce savant, il résulte que l'aragonite exige pour cristalliser soit une température un peu élevée, soit une concentration suffisante des liqueurs. La calcite se forme, au contraire, soit à froid, soit en solution très étendue.

Becquerel a reproduit l'aragonite en chauffant, en vase clos, à une température voisine de 140°, une dissolution concentrée de carbonate de sodium en présence du gypse.

Tout récemment M. H. Warth [1] a montré que l'aragonite pouvait prendre naissance sans l'intervention de la chaleur, mais dans des solutions alcalines.

Enfin, les belles recherches de M. W. Meigen [2], sur la reproduction de l'aragonite, ont fait voir qu'on peut obtenir ce minéral sous forme d'agrégats radiés, en précipitant, à basse température, une solution de chlorure de calcium par le carbonate de sodium; l'aragonite se forme d'autant plus rapidement que la solution est plus alcaline. Ce savant a également constaté que la précipitation par le bicarbonate de soude donne, à chaud, des aiguilles d'aragonite; à froid, il se forme d'autant plus de calcite que la solution est plus diluée. Il a observé, en outre, que la précipitation d'une solution concentrée de chlorure de calcium par le carbonate d'ammonium donne, à froid, de l'aragonite en sphérolites et, à chaud, de la calcite.

Les cristaux d'aragonite qui font l'objet de cette Note ont été obtenus de la manière suivante :

On a introduit, dans un siphon d'eau de seltz, du carbonate

---

(1) *Cent. für Min.*, 1902, p. 492.

(2) *Berichte der naturf. Gesellschaft. z. Friburg i. Br.*, Bd. XIII, 1902.

de calcium précipité. La majeure partie de cette substance a été dissoute au bout de quelques mois. Puis on a fait passer le contenu du siphon sur un filtre et l'on a soumis la solution de bicarbonate de calcium à une évaporation très lente, à la température ordinaire et sous la pression atmosphérique.

En opérant ainsi, on a obtenu des cristaux d'aragonite ayant quelques millimètres de longueur. Ces cristaux sont vitreux, incolores, et présentent les faces p(**001**), m(**110**), g^1(**010**) et e^1(**011**). La densité est égale à 2,9. Les propriétés optiques sont celles des cristaux naturels.

Lorsqu'on chauffe, pendant quelques minutes, cette aragonite artificielle, préalablement pulvérisée, avec une solution d'azotate de cobalt, elle prend une teinte rouge lilas tout à fait caractéristique. Cette réaction, découverte récemment par M. W. Meigen, permet, comme on sait, de distinguer l'aragonite de la calcite.

Produits de déshydratation de quelques phosphates et orientation du chlorure de baryum sur les minéraux du groupe de l'autunite [1];

Par M. Paul Gaubert.

Beaucoup de corps hydratés, par suite d'une certaine élévation de température, perdent partiellement ou totalement leur eau, et il se produit des substances nouvelles moins hydratées que le corps primitif et orientées quelquefois sur ce dernier. Dans cette Note, je vais examiner quelques phosphates à ce point de vue.

---

[1] Communication faite à la séance d'avril 1904.

Chalcophyllite ($AsO^4[Cu.OH]^2.Cu[OH]^2, 3\frac{1}{2}H^2O$). — La chalcophyllite se présente en lames aplaties suivant a^1(0001), uniaxes et négatives. La mesure des indices de réfraction, non encore déterminés, faite avec le réfractomètre de M. Klein et avec une face naturelle a^1, m'a donné les résultats suivants :

ω........................	1,6323
ε........................	1,5745
ω — ε....................	0,0578

Les cristaux de chalcophyllite, chauffés à une température supérieure à 100°, deviennent un peu plus pâles, conservent leur forme et leurs propriétés optiques, c'est-à-dire qu'ils restent uniaxes et négatifs, et cependant ils ont perdu une partie de leur eau [14,06 pour 100, d'après Church (1)]. La perte de cette dernière n'est mise en évidence par aucun caractère bien apparent, si l'on n'a pas à la fois sous les yeux les deux substances. Un examen plus attentif montre que, sur les cristaux un peu grands, la base a^1 de ceux qui sont partiellement déshydratés n'a pas une surface aussi plane que celle du minéral primitif, à tel point qu'il est impossible de faire aucune mesure avec un réfractomètre. Le nouveau corps, qui s'est ainsi produit, conserve ses propriétés et sa composition jusqu'au rouge sombre, température où il perd le reste de son eau (18,4 pour 100).

Au-dessous de 100°, la chalcophyllite perd déjà de l'eau, et cette perte, à une température assez basse, est probablement l'origine des résultats différents obtenus par Church et par Damour (2).

Par analogie avec les noms donnés par M. Rinne (3), j'ap-

(1) Church, *J. Ch. Soc.*, t. XXIII, 1870, p. 168.

(2) Damour, *Ann. de Chim. et de Phys.*, t. XIII, 1845, p. 413 et Hermann. *J. pr. Ch.*, t. XXXIII, p. 294.

(3) F. Rinne, *Centralb. f. Min.*, 1901, p. 618.

pelle *métachalcophyllite* le minéral partiellement déshydraté ayant seulement l'eau de constitution.

Autunite ($[PO^4]^2[UO^2]Ca, 8H^2O$). — Des Cloizeaux [1] a montré que l'autunite, en perdant une partie de son eau, devenait uniaxe un peu au-dessus de 100°. M. Rinne [2] a observé qu'avec des lames beaucoup plus minces que celles qui ont été employées par Des Cloizeaux, le minéral devenait uniaxe à une température plus basse. La transformation commence déjà à 50° et, à 75°, les lames de clivage sont uniaxes; entre 75° et 85°, il se produit de nouvelles lames biaxes dont le plan des axes optiques est parallèle aux clivages g^1(**010**) et h^1(**100**) de l'autunite. Dans ce produit de déshydratation, les axes sont beaucoup plus écartés que dans le minéral primitif. C'est à cette modification très stable, détruite seulement au rouge, que M. Rinne a donné le nom de *méta-autunite*. C'est toujours la bissectrice négative qui reste perpendiculaire à la lame.

Uranocircite ($[PO^4]^2[UO^2]Ba, 8H^2O$). — L'uranocircite, qui est une autunite dans laquelle le calcium est remplacé par le baryum, se comporte d'une façon un peu différente. Elle est identique en apparence à l'autunite et même les deux minéraux ont été longtemps confondus. Les constantes cristallographiques de l'uranocircite n'ont pas été établies, mais il est probable qu'elle est isomorphe avec l'autunite; aussi, pour faciliter la description, j'admets que le plan des axes de l'uranocircite a la même position que dans l'autunite et, par conséquent, qu'il est placé dans g^1(**010**).

A la température ordinaire, le plan des axes optiques est

---

(1) Des Cloizeaux, *Manuel de Minéralogie*, t. II, p. 479. — *Voir* aussi Brezina, *Zeitsch. f. Kryst.*, t. III, 1878, p. 273. — R. Brauns, *Die optischen anomalien der Krystalle*, Leipzig, 1891, p. 63.

(2) Rinne, *Cent. f. Min.*, 1901, p. 618.

perpendiculaire à la lame de clivage et leur angle dans l'air est de 15° à 20° (¹) autour d'une bissectrice négative, mais il peut être plus petit ou plus grand suivant les échantillons et même, dans la même lame de clivage, les variations sont assez grandes, soit par perte d'eau, soit par suite de groupements.

Les lames de clivage, chauffées vers 100°, deviennent uniaxes et n_p conserve la même position, c'est-à-dire qu'il reste perpendiculaire à la base. D'après Church (²), il y une perte d'eau correspondant à 6éq d'eau.

Si l'on observe plusieurs lames portées à 100°, on remarque que toutes ne sont pas uniaxes. Il y en a qui présentent des bandes biréfringentes, parallèles aux deux clivages et, par conséquent, à angle droit. Si l'on étudie les plaques déshydratées avec le microscope, auquel on a adapté un dispositif pour chauffer les plaques, on observe que les diverses lames se trouvant sur la lame porte-objet (elles ont été chauffées dans la glycérine) ne sont pas uniaxes en même temps. En outre, alors que les unes restent uniaxes, après refroidissement, dans d'autres il y a production de bandes biréfringentes perpendiculaires à une bissectrice négative, et à axes très écartés. Le plan des axes est parallèle aux traces de clivage.

Si l'on chauffe vers 150°, aucune des lames ne reste biaxe, et il y a formation de deux séries de bandes à axes écartés, perpendiculaires à n_p, comme dans l'autunite. Ces lames sont plus ou moins croisées, aussi l'angle des axes optiques est variable sur certains points et il existe même des plages, peu étendues il est vrai, complètement uniaxes (*fig.* 1).

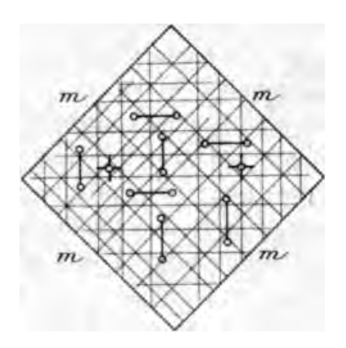
Si l'on élève la température à 280° en chauffant les lames du clivage dans la glycérine bouillante, contrairement à ce qui

(¹) Des Cloizeaux, *Manuel de Minéralogie*, t. II, 1893, p. 482.
(²) Church, *Min. Magaz.*, t. I, p. 234.

se passe avec l'autunite, l'uranocircite redevient uniaxe. Alors elle a perdu toute son eau. Ce produit est stable.

L'uranocircite est un minéral difficile à se procurer en quantité suffisante pour faire des analyses. J'ai fait cependant quelques essais qui montrent qu'à chaque modification optique de la substance correspond une certaine perte d'eau. Church (¹) a évalué à 6ᵉq d'eau la quantité qui se dégage à 100° et le reste au rouge.

Fig. 1.



Par analogie avec ce qui a lieu d'autunite, j'appelle *méta-uranocircite* le produit partiellement déshydraté biaxe.

Les produits successifs de la déshydration de l'uranocircite peuvent donc se grouper les uns avec les autres, l'indice n_p restant toujours perpendiculaire à la base. La biréfringence des produits biaxes est faible.

Que ces divers corps se groupent entre eux, il n'y a rien d'étonnant, à cause de leur composition chimique; mais tous, et probablement aussi les minéraux du groupe de l'autunite, peuvent former des associations régulières avec un corps

(¹) Church, *loc. cit.*

qui n'a avec eux aucun rapport de composition chimique : c'est le chlorure de baryum.

Groupement avec le chlorure de baryum. — Ayant attaqué l'uranocircite déshydratée par l'acide chlorhydrique afin d'obtenir des figures de corrosion, j'ai observé la production de figures régulières ayant toutes la même orientation. Un examen plus attentif m'a montré que c'étaient de petits cristaux, ayant l'apparence de figures de corrosion, formés par du chlorure de baryum hydraté ($BaCl^2$, $2H^2O$).

Les cristaux de ce sel se groupent donc régulièrement avec ceux d'uranocircite déshydratée; j'ai répété la même expérience avec ce minéral intact et avec tous ses produits de déshydratation et j'ai constaté qu'on obtient toujours des résultats identiques.

Les cristaux de chlorure de baryum, obtenus par l'attaque avec l'acide chlorhydrique concentré, sont très petits; j'ai eu de meilleurs résultats avec les lames d'uranocircite qui étaient encore enduites de glycérine dans laquelle elles avaient été déshydratées. Ce liquide retarde l'attaque et les cristaux deviennent ainsi beaucoup plus gros. Ils atteignent parfois $\frac{1}{3}$ de millimètre.

Une lame de clivage d'uranocircite, placée sur une lame de verre et sur laquelle on dépose une goutte d'une solution saturée de chlorure de baryum, provoque l'orientation des cristaux de ce dernier sel, dans le cas où la goutte liquide ne couvre pas complètement toute la lame de clivage.

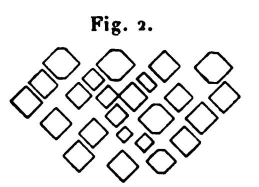
L'orientation se fait pour les cristaux se déposant sur les bords de la goutte. Les cristaux d'uranocircite qui sont beaucoup plus petits que la goutte n'orientent pas tous les cristaux de chlorure de baryum.

Les lames de clivage, attaquées par l'acide chlorhydrique, finissent par être complètement dissoutes, de telle sorte qu'il

ne reste que des cristaux de chlorure de baryum conservant leur orientation primitive, laissant parfois entre eux un petit espace (*fig.* 2). Si la cause de cette orientation n'avait pas été observée, il eût été bien difficile de la déterminer.

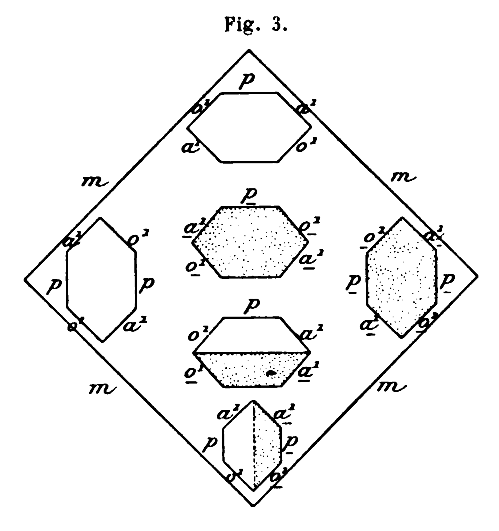
Les cristaux de chlorure de baryum s'orientent sur ceux

Fig. 2.



d'uranocircite, de façon que l'arête pg^1(001)(010) du sel coïncide avec un des clivages rectangulaires g^1(010) ou h^1(100)

Fig. 3.



du minéral et que g^1(010) du premier soit accolé avec p(001) de l'uranocircite. Les cristaux de chlorure de baryum peuvent. par conséquent, prendre quatre positions différentes indiquées par la figure schématique (*fig.* 3). Ces cristaux sont

souvent maclés suivant $p(001)$ et, par conséquent, le plan de macle coïncide avec un de ceux de l'uranocircite. Les cristaux de chlorure de baryum présentent aussi les macles suivant $h^1(100)$, mais je n'ai pas pu constater si, dans le cas où elle existait seule, il y avait coïncidence avec un élément déterminé des cristaux d'uranocircite.

Les cristaux de chlorure de baryum sont presque orthorhombiques et, avant les observations de M. Wyrouboff ([1]), on leur avait attribué ce degré de symétrie. L'angle β est voisin de l'angle droit (91°5′).

Mais si l'on admet que l'uranocircite est monoclinique, à la suite de M. Brezina ([2]) et de R. Brauns ([3]), on a l'homologie suivante :

$p(001)$	devient	$g^1(010)$,
$g^1(010)$	»	$p(001)$,
$m(110)$	»	$o^1(101)$,
$a^{\frac{1}{2}}(\bar{2}01)$	»	$m(110)$,
$h^1(100)$	reste	$h^1(100)$.

Avec cette interprétation, les faces $g^1(010)$ de l'uranocircite et du chlorure de baryum coïncident et l'arête $pg^1(001)(010)$ du sel est parallèle soit avec la même arête du minéral, soit avec l'arête $ph^1(001)(001)$ de ce dernier.

L'autunite fournit les mêmes résultats que l'uranocircite quant à l'orientation des cristaux déposés par une goutte d'une solution de chlorure de baryum.

Le produit de déshydratation, la métaautunite de Rinne, oriente aussi le chlorure de baryum et le groupement se fait comme avec l'uranocircite.

La chalcolite ($[PO^4]^2[UO^2]^2Cu, 8H^2O$) fournit des résultats

---

([1]) WYROUBOFF, ce *Bulletin*, t. IX, 1886, p. 262.
([2]) BREZINA, *Zeitsch. f. Kryst.*, t. III, 1879, p. 273.
([3]) R. BRAUNS, *loc. cit.*, p. 64.

identiques. Le minéral intact et son produit de déshydratation, la métachalcolite (1) de Rinne, s'orientent avec le chlorure de baryum de la même manière qu'avec l'uranocircite. Ces observations confirment l'analogie des propriétés cristallographiques de la chalcolite avec celles de l'autunite et de l'uranocircite ; etc.

Tous ces minéraux ont donc une grande facilité de se grouper avec leurs produits respectifs de déshydratation et avec le chlorure de baryum ; ils peuvent se grouper aussi entre eux, comme l'ont observé dans quelques cas M. Phillips et M. Goldschmidt.

M. Goldschmidt (2) a décrit l'association régulière de la zeunérite avec la trogérite. La face p(**001**) ou g^1(**010**), suivant qu'on considère les cristaux comme quadratiques ou monocliniques, de la trogérite coïncide avec la même face de la zeunérite.

W. Phillips (3) a aussi constaté le groupement régulier de l'autunite et de la chalcolite qui, comme on l'a vu plus haut, orientent le chlorure de baryum.

Tous les cas qui viennent d'être examinés sont des exemples de la règle énoncée par M. O. Mügge (4) : deux corps qui s'orientent avec un troisième peuvent former l'un avec l'autre des associations régulières.

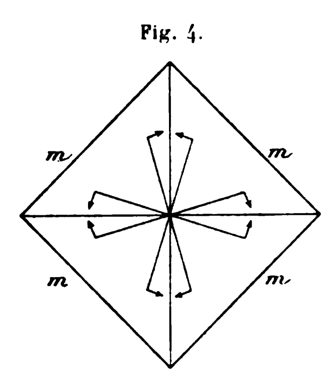
Ces associations de l'autunite et de la chalcolite, de la zeunérite et de la trogérite, de l'uranocircite, de l'autunite avec le chlorure de baryum, etc., rentrent dans la catégorie de celles où le groupement est parallèle, d'après M. Wallerant (5). Je ferai remarquer que les cristaux de chlorure de ba-

---

(1) Rinne, *Cent. f. Min.*, 1901, p. 618.
(2) V. Goldschmidt, *Zeitsch. f. Kryst.*, t. XXXI, p. 474, 1899.
(3) W. Phillips, d'après Walker, *Am. J. of. Sc.*, t. VI, 1898, p. 41.
(4) O. Mügge, *Neues Jahrb. f. Min.*, Beil., Bd. XVI, 1902, p. 438.
(5) F. Wallerant, ce *Bulletin*, t. XXV, 1902, p. 192.

ryum, se formant sur une lame de verre, reposent toujours sur la face d'aplatissement $g^1(010)$, par conséquent les forces agissant sur les molécules de ce corps pour les orienter sur les

Fig. 4.



lames de clivage des minéraux du groupe de l'autunite n'ont à faire tourner les molécules ou les lames cristallines que dans le plan de g^1, dans une des quatre directions indiquées par la figure 4.

En outre les cristaux de chlorure de baryum, indépendamment des macles suivant h^1 et p, présentent aussi des associations suivant la face d'aplatissement g^1. Les deux premières macles sont produites dans le cas où la cristallisation est rapide, ou par action mécanique (O. Mügge); mais un examen attentif montre que l'association suivant la face g^1 est souvent due à l'accolement de deux cristaux d'abord indépendants. J'ai montré que la macle suivant a^1, dans le nitrate de plomb, pouvait aussi se produire par la réunion de deux cristaux et j'ai attribué cette attraction aux actions capillaires. Il est évident que l'attraction s'accroîtra à mesure que les deux faces viendront de plus en plus en coïncidence et qu'elle sera maximum quand les directions cristallographiques égales se superposeront dans les deux cristaux.

Les cristaux de spinelle montrent fréquemment, du moins autant que de macles suivant a^1, un plan de séparation indiquant bien que le cristal est composé de deux moitiés ayant la même orientation, moitiés qui ont dû être indépendantes au début.

Naturellement, on ne peut attribuer à ce mode de formation que la production de quelques macles et il peut aussi se faire que le groupement de deux espèces différentes soit parfois dû à une cause semblable; les lames de chlorure de baryum formées à la surface d'un liquide, au fond duquel se trouvent des lames de clivage d'autunite, ne s'orientent pas quand elles tombent au fond, c'est-à-dire quand elles viennent en contact avec l'autunite, mais elles sont dans ce cas trop épaisses et par conséquent trop lourdes pour être attirées. Cependant on peut voir parfois des lames minces, formées sur le contour de la goutte, flottant à moitié, tomber finalement sur la lame d'autunite et s'orienter sur cette dernière.

Un autre fait qui tend à mettre en évidence l'influence des actions capillaires pour l'orientation des cristaux d'espèce différente est celui qui a été mentionné plus haut : c'est qu'un cristal d'uranocircite, d'autunite, etc. ne s'accroît pas dans une solution saturée de chlorure de baryum, et, pour que l'orientation de ces derniers cristaux se produise, il faut mettre une goutte de liquide ne couvrant pas toute la surface de la face de clivage p(**001**) et encore le groupement régulier ne se produit surtout que pour les cristaux qui prennent naissance sur les bords de la goutte.

Les propriétés de l'autunite et de l'uranocircite, qui viennent d'être étudiées, permettent de distinguer très facilement les deux minéraux, alors même qu'on ne peut opérer que sur une très petite lamelle. Il suffit d'examiner les modifications des propriétés optiques sous l'influence de la chaleur, ou bien

d'attaquer la lame par une goutte d'acide chlorhydrique. Il se produit seulement avec l'uranocircite des cristaux de chlorure de baryum. L'acide azotique fournit aussi des résultats grâce à la production de cristaux cubo-octaèdres de nitrate de baryum obtenus avec l'uranocircite.

Les autres phosphates ne présentent pas tous des orientations semblables avec leurs produits de déshydratation. La vivianite, l'érythrine et la cabrérite, chauffées dans la glycérine bouillante, perdent leur eau et donnent une substance transparente isotrope. Avec la vivianite on peut obtenir des lames anhydres assez étendues correspondant aux lames de clivage. Elles ne donnent pas de figures de corrosion, aussi il n'est pas possible de savoir si la nouvelle substance est cubique ou amorphe.

Sur l'accroissement des cristaux de thymol;

Par M. Paul Gaubert.

Quand une matière fondue cristallise, par suite du refroidissement sur une lame de verre porte-objet, il se produit, suivant les substances étudiées, des faits différents. Tantôt un cristal unique prend naissance, tantôt il y a formation de plusieurs cristaux dont le nombre dépend de la substance considérée et de la température de refroidissement. Pour étudier l'accroissement du cristal formé par une matière fondue, j'ai cherché des substances donnant le moins de cristaux. Le thymol ($C^{10}H^{14}O$) m'a fourni des résultats satisfaisants à ce point de vue.

Ce corps cristallise dans le système rhomboédrique, d'après

les recherches de MM. Groth (¹) et Miller (²) et présente les formes $p(10\bar{1}1)$, $b^1(01\bar{1}2)$, $a^1(0001)$.

Sur une lame de verre, les cristaux produits par le thymol préalablement fondu (la fusion a lieu à 44°) sont aplatis suivant la face $p(10\bar{1}1)$.

Le thymol étant incolore, il est difficile d'observer toutes les phases de l'accroissement; aussi, pour les mettre en évidence, j'ai coloré par de la purpurine ($C^{14}H^8O^5$) le liquide fondu. Cela est très facile à cause de la faculté que possède le thymol de dissoudre certaines couleurs d'aniline.

L'avantage de la coloration est de permettre, si cette dernière n'est ni trop faible, ni trop forte, de déterminer l'épaisseur de la couche liquide enveloppant le cristal et celle de ce dernier. En observant le cristal avec les nicols croisés, la teinte de polarisation donne bien l'épaisseur des couches cristallines formées, mais alors on ne voit plus le liquide.

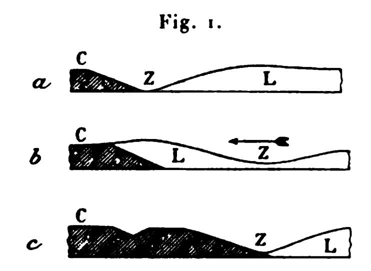
Le cristal étant en voie d'accroissement, on observe les faits suivants, dans le cas où la couche de liquide a au plus $0^{mm},5$ d'épaisseur.

Examinons l'accroissement au moment où le cristal se trouve enveloppé par une zone moins colorée que le reste du liquide, ce qui tient tout simplement à ce que cette dernière correspond à une couche de liquide plus mince que sur le reste de la lame de verre, comme l'indique la figure schématique 1, *a*, représentant une coupe transversale à la lame porte-objet. C désigne le cristal, L le liquide et Z l'auréole enveloppant le premier. La zone claire correspond à ce que M. O. Lehmann (³) a décrit, dans la formation des cristaux aux dépens d'une solution, sous le nom de *hof*. Je reviendrai plus loin sur cette

(¹) P. Groth, *Pogg. Ann.*, t. CXXXV, p. 655.
(²) Miller, *Ann. Chem. Pharm.*, t. XCVIII, p. 310.
(³) O. Lehmann, *Zeitsch. f. Kryst.*, t. I, 1878.

particularité. Le cristal continue à s'accroître, les couches nouvellement formées étant de plus en plus minces. Cela se passe ainsi pendant quelques secondes, jusqu'à ce que les bords du cristal arrivent jusqu'à la couche épaisse de liquide. Ce dernier vient alors en grande quantité vers le cristal, de telle façon que celui-ci paraît limité par une première auréole très colorée enveloppée elle-même par une autre qui l'est moins (*fig.* 1, *b*). L'auréole rouge, formée par une épaisse

Fig. 1.



couche de liquide, donne naissance à une couche cristalline plus épaisse que celle qui vient d'être immédiatement formée, et alors, le cristal est entouré, par la disparition de la zone rouge, d'une auréole peu colorée ou plutôt formée par une couche mince de liquide (*fig.* 1, *c*). Le phénomène se continue ainsi jusqu'à ce que toute la couche de thymol se trouvant sur la lame soit complètement solidifiée.

Le mode d'accroissement qui vient d'être décrit explique bien la formation périodique du cristal, déjà observée par Frankenheim ([1]) et qui est facile à constater sur beaucoup de substances. On constate aussi que, au moment où le cristal absorbe graduellement la couche mince de liquide lui formant une auréole, la couche épaisse de liquide est fortement

([1]) Frankenheim, *Pogg. Ann.*, t. CXI, 1860, p. 1. — *Voir* aussi O. Lehmann, *Zeitsch. f. Kryst.*, t. I, 1877, p. 476. — G. Quincke, *Ann. der Physik.*, 4e série, t. IX, 1902, p. 35.

attirée par le cristal quand celui-ci arrive dans son voisinage immédiat. Cette attraction est due aux actions capillaires.

Les différents dépôts cristallins sont tous en contact les uns avec les autres et appartiennent pour ainsi dire au même cristal, mais il y a aussi, lorsque la couche de liquide est très mince, des parties orientées comme les autres, mais ayant avec ces dernières seulement quelques traits d'union et d'autres fois même pas du tout. Le cristal semble avoir exercé à distance (jusqu'à $\frac{5}{100}$ de millimètre) une action directrice sur les molécules déposées un peu plus tard et n'étant pas en contact avec lui, si ce n'est par l'intermédiaire du liquide. L'idée qui vient à l'esprit est que l'orientation peut avoir été produite par une couche très mince continue avec le grand cristal et qui aurait disparu ensuite. J'ai fait de nombreuses recherches pour vérifier le fait et n'ai obtenu aucun résultat.

Je ferai remarquer que le quartz qui se trouve dans le feldspath des pegmatites graphiques a dû se former de la même manière que les cristaux de thymol composés de parties plus ou moins séparées mais ayant la même orientation.

Comme je l'ai dit plus haut, M. O. Lehmann a signalé une auréole existant autour d'un cristal en voie de formation dans une solution. Cette auréole serait formée par une couche de liquide moins saturée que le reste. Son observation, faite sur une lame de verre porte-objet, est basée sur différents faits et en particulier sur la différence de coloration, plus faible dans l'auréole que dans le reste du liquide. O. Lehmann a expérimenté avec le permanganate de potasse. En répétant ses expériences on peut voir que l'auréole peut être aussi produite par le fait que le cristal est enveloppé, comme dans mes observations sur le thymol, par une couche plus mince de liquide. Du reste, la différence de saturation entre l'auréole et le reste de la solution n'est pas suffisante

pour donner une différence de couleur appréciable à l'œil.

Quand il y a beaucoup de liquide sur une lame, on peut se rendre compte que les courants existant dans la solution amènent continuellement des matières et l'accroissemeut n'est pas alors interrompu, mais qu'il est continu. Les mouvements du liquide sont mis en évidence par les particules solides flottant à la surface. On peut employer le bleu de méthylène finement pulvérisé. Ce corps, en effet, ne se dissout pas tout de suite dans le thymol fondu et les particules qui flottent sont faciles à observer.

Dans une Note antérieure (¹), j'ai montré que la production des inclusions, dans les cristaux obtenus d'une solution, se faisait au point de rencontre des courants de concentration. Le thymol montre parfois de nombreuses inclusions produites par une autre cause. Ces dernières sont allongées, ont la forme d'un canal ou plutôt d'un sillon plus ou moins droit, et sont à peu près parallèles.

Ces inclusions se produisent de la façon suivante. Une bulle gazeuse apparaît sur le bord de l'arête $pp(10\bar{1}1)(10\bar{1}\bar{1})$ suivant laquelle se fait l'accroissement. Cette bulle se trouvant entre le cristal et le liquide empêche le dépôt de la matière cristallisée et, comme elle suit le liquide dans son mouvement de recul tout en restant en contact avec le cristal, l'inclusion continue à s'allonger jusqu'à ce que la bulle disparaisse. Naturellement ce genre d'inclusions ne peut se produire que si la bulle gazeuse se trouve à la partie supérieure du cristal.

D'après le mode de formation de ces inclusions, on se rend immédiatement compte que leur allongement se fait suivant la direction d'accroissement du cristal et que ce n'est qu'à une cause secondaire qu'elles doivent leur parallélisme.

Je ferai aussi remarquer que les cristaux de thymol, d'acide

(¹) Ce *Bulletin*, t. XXV, 1902, p. 237.

benzoïque et d'acide hippurique prennent une belle coloration lorsqu'ils cristallisent par suite du refroidissement d'une masse fondue dans laquelle des couleurs d'aniline ont été dissoutes, mais aucun de ces cristaux n'est polychroïque. L'association avec le cristal de la matière colorante n'est pas, par conséquent, en relation avec la symétrie de ce dernier.

Sur les anomalies de forme des cristaux;

Par M. Paul Gaubert.

Dans le cours de mes recherches sur la cristallisation, j'ai observé des cristaux, produits accidentellement, ayant un contour rigoureusement circulaire. J'ai cherché le moyen de les reproduire avec certitude et j'ai réussi avec plusieurs corps et en particulier avec l'acide picrique dont il va être surtout question dans cette Note.

L'acide picrique cristallise dans le système rhombique et est hémimorphe [1]. Les cristaux produits, sur une lame de verre, par évaporation d'une goutte de solution de ce corps sont allongés suivant l'axe vertical et aplatis suivant h^1 (**010**), de telle façon qu'un de ces cristaux, examiné en lumière convergente, montre la bissectrice n_p perpendiculaire à la plaque.

Les figures de corrosion, observées sur les faces h^1 (**010**) et obtenues par l'action de l'eau, sont identiques quant à leur forme et à leur orientation à celles qui se trouvent sur les faces correspondantes de la calamine. Avec la position du plan des axes, elles permettent d'orienter les cristaux à contour

---

(1) Brugnatelli, *Zeitsch. f. Krystall.*, t. XXIV, 1895, p. 274 et E. A. Wulfing, *Id.*, t. XXV, 1896, p. 458.

circulaire. Pour obtenir ces derniers on opère de la façon suivante :

Une goutte de glycérine, dans laquelle on ajoute de l'acide picrique, est mise sur une lame de verre et portée à une température supérieure à 122°, point de fusion de l'acide picrique, sur une platine chauffante. L'acide picrique fond et est alors miscible à la glycérine en proportion assez notable. Si l'on retire la lame de verre de dessus la platine chauffante, la solubilité de l'acide picrique dans la glycérine diminue par suite du refroidissement et ce corps se sépare sous forme de gouttelettes liquides dont le nombre et le volume dépendent de la quantité relative dissoute et de la vitesse de refroidissement.

La température continuant à s'abaisser, ces gouttelettes se solidifient et au lieu de donner, comme cela arrive habituellement, un sphérocristal, elles se transforment en un cristal unique. L'examen des propriétés optiques montre que ces cristaux, qui sont des lentilles très aplaties, sont orientés de telle façon, qu'examinés en lumière convergente, on voit que c'est n_p qui est perpendiculaire à la face d'aplatissement. Par conséquent l'acide picrique, en cristallisant d'un liquide ou par solidification d'une masse fondue, prend la même orientation par rapport à la lame de verre.

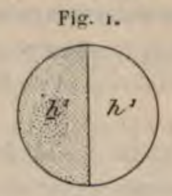
Ces cristaux lenticulaires, examinés en lumière naturelle, ne se distinguent en rien d'une gouttelette liquide, à tel point que, sans nicols, il n'est pas possible de saisir le moment où la solidification commence et l'on pourrait penser qu'on a affaire à des cristaux liquides et, en tâtonnant plus ou moins, on peut arriver à obtenir quelques-unes des apparences variées fournies par ces derniers (1). Ils sont très aplatis, le rayon de la surface supérieure est plus grand que celui de la

(1) O. Lehmann, *Flüssige Krystalle*, Leipzig, 1904.

partie inférieure. En lumière parallèle, on observe diverses teintes de polarisation qui forment des zones rigoureusement circulaires. La teinte grise du premier ordre se trouve sur les bords et le centre montre, dans les cristaux assez grands, le vert du troisième ordre.

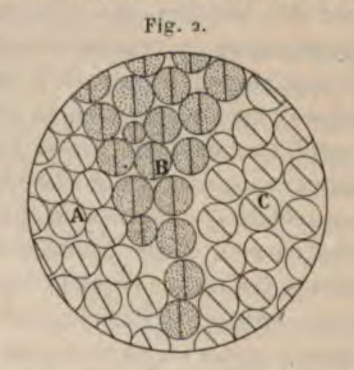
Ces cristaux présentent quelquefois des macles. La lentille est alors partagée en deux parties égales et l'angle d'extinction rapporté à la ligne de macle permet de reconnaître que l'association se fait suivant e^1 (*fig.* 1). Dans certaines régions

Fig. 1.



de la plaque l'extinction se fait simultanément pour tous les cristaux, de telle sorte que ces derniers ont la même orienta-

Fig. 2.



tion comme s'ils appartenaient à un seul individu (*fig.* 2, A, B, C). Les diamètres représentent la trace du plan des axes optiques.

En suivant la solidification on voit qu'elle commence sur un point de la périphérie d'une goutte et qu'elle se propage

progressivement jusqu'à ce que la cristallisation soit complète : ensuite les gouttes voisines commencent à cristalliser par leur point de contact, et ainsi de suite. Mais, comme la cristallisation débute par plusieurs points à la fois de la lame porte-objet, il se produit plusieurs grandes plages orientées de façon quelconque l'une par rapport à l'autre (*fig.* 2, A, B, C).

Les cristaux isolés ont chacun une orientation particulière. Les gouttes observées sur une lame atteignent 5mm de diamètre, mais habituellement elles ne dépassent pas 0mm,5 ; souvent celles qui sont très grandes forment un sphérolite, mais cela tient à ce que la cristallisation est trop rapide.

Les grosses gouttes sont souvent enveloppées d'un très grand nombre de petites. Pour avoir de bons résultats, c'est-à-dire obtenir des cristaux assez volumineux et qui ne soient pas très nombreux afin que l'observation au microscope soit rendue plus facile, il faut tâtonner pour établir les quantités d'acide picrique et de glycérine qu'il faut employer, et aussi pour la vitesse de refroidissement.

On arrive aussi au même but, en mettant sur la glycérine à 130° de l'acide picrique en poudre, celui-ci fond et, avant que les gouttelettes formées aient le temps de se mélanger à la glycérine, on refroidit brusquement. Indépendamment de ces cristaux circulaires il s'en produit d'autres identiques à ceux qui prennent naissance dans l'eau.

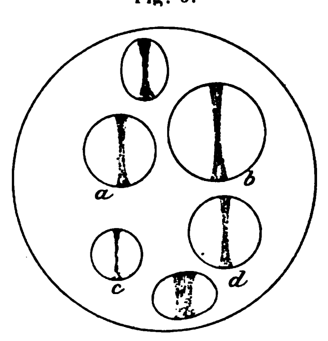
En général une goutte liquide qui passe à l'état solide donne un sphérolite et les expériences de M. G. Quincke [1], qui a publié dernièrement une série de très intéressantes recherches, en montrent de nombreux exemples. Cependant certains corps ont tendance à ne former qu'un cristal unique en cristallisant lentement d'une masse fondue, naturellement peu étendue. Ainsi l'acide benzoïque se solidifiant sur une

---

(1) G. Quincke, *Ann. der Physik*, 4e série, t. IX, 1902, p. 1.

lame de verre, sur laquelle il a été fondu, s'oriente de façon que l'examen en lumière convergente montre toujours un axe optique. Dans quelques cas il se produit, dans la couche solidifiée, de très petites bulles d'air et alors, en lumière paral-

Fig. 3.



lèle, on observe, sur ces bulles, les images données par la lumière convergente, c'est-à-dire qu'on voit une petite bande noire diamétrale sur la bulle qui se meut quand on tourne la plaque. Cela tient tout simplement à ce que la bulle joue le rôle de lentille [1].

Sur la cristobalite de Mayen;

Par M. Paul Gaubert.

Dans le cours d'un voyage dans l'Eifel, j'ai visité assez longuement les carrières de Mayen et de Niedermendig, ouvertes dans une téphrite et exploitées pour l'extraction de pierres meulières. Les enclaves enallogènes quartzeuses ou quartzo-feldspathiques y sont très abondantes, on en trouve une

---

[1] E. Bertrand, cité par Mallard, *Traité de Cristallographie*, t. II, 1884, p. 415.

vingtaine sur une surface de 1^{dm^2}. C'est dans ce genre de petites enclaves, formées par un grain de quartz qui a été parfois résorbé et dont les parois sont couvertes de cristaux de porricine, que M. A. Lacroix ([1]) a découvert des cristaux de cristobalite, associés par conséquent aux deux autres formes de silice : quartz recristallisé et tridymite.

J'ai cherché avec beaucoup d'attention les cristaux de cristobalite et j'ai trouvé quelques enclaves de la grosseur d'un pois montrant chacune de 2 à 5 cristaux seulement de ce rare minéral. Mais j'ai aussi recueilli une plaque sur laquelle les cavités produites par la résorption de l'enclave sont toutes en communication les unes avec les autres et qui contient 23 cristaux assez beaux de cristobalite atteignant $0^{mm},5$.

Je dois faire remarquer que tous les échantillons de cristobalite, que j'ai trouvés, proviennent des déblais rejetés des carrières les plus rapprochées d'Ettringen en allant vers Mayen, c'est-à-dire les plus proches du cratère de Bellenberg. C'est aussi là que se rencontrent surtout les enclaves riches en quartz recristallisé.

Les cristaux de cristobalite sont identiques à ceux décrits par M. A. Lacroix, c'est-à-dire qu'ils sont octaédriques (pseudocubiques), laiteux, à faces légèrement en relief ou en creux, mais le plus souvent en relief, et alors ils présentent des couches concentriques partant du centre de la face de l'octaèdre et diminuant régulièrement d'étendue, de telle sorte que les faces de l'octaèdre sont surmontées de trois faces vicinales, rappelant certains cristaux octaédriques de diamant.

Sur deux échantillons, j'ai observé la macle $a^1(111)$ des spinelles. Dans ce cas les cristaux étaient aplatis suivant la face d'accolement.

([1]) A. Lacroix, ce *Bulletin*, t. XIV, 1891, p. 185 et *Les enclaves des roches volcaniques*, 1893, p. 31.

La densité des cristaux, prise au moyen de la balance de Westphal et du tétrabromure d'acétylène additionné d'éther, est de 2,348, moyenne de cinq observations. Cette densité ne peut être considérée comme très exacte à cause du grand nombre d'inclusions donnant aux cristaux leur couleur laiteuse.

La densité est cependant supérieure, d'après toutes les recherches antérieures faites jusqu'ici et les miennes, à celle de la tridymite; aussi, en lisant le Mémoire de Mallard (¹), j'ai été étonné de voir que ce savant donne un indice de 1,432 pour la cristobalite alors que pour ceux de la tridymite il a obtenu :

$$n_g = 1,478 \qquad \text{et} \qquad \frac{n_m + n_p}{2} = 1,4775.$$

Il y a donc certainement une faute d'impression, puisque c'est la cristobalite qui, ayant la densité la plus grande, doit avoir aussi l'indice de réfraction le plus fort. Mallard dit du reste dans son Mémoire : « L'indice moyen (*de la cristobalite*) mesuré sur un petit prisme peu translucide a été trouvé pour le jaune moyen égal à 1,432, c'est-à-dire sensiblement égal ou un peu supérieur à celui de la tridymite ». J'ai d'abord pensé que la faute d'impression était dans le nombre donnant l'indice de la tridymite, car von Lasaulx (²), en employant la méthode du duc de Chaulnes, avait trouvé :

$$\beta = 1,4285, \qquad \gamma = 1,4107.$$

J'ai donc été amené à refaire les mesures. Je me suis servi du réfractomètre à réflexion totale de M. Klein et j'ai trouvé pour la tridymite des nombres très voisins de ceux de Mallard

(¹) E. MALLARD, ce *Bulletin*, t. XIII, 1890, p. 172.
(²) VON LASAULX, *Zeitsch. f. Kryst.*, t. II, 1878, p. 253.

(un peu plus élevés), mais comme j'ai employé des faces naturelles, que les cristaux sont maclés, la ligne de séparation n'est pas très nette; aussi je considère les nombres de Mallard, obtenus par la méthode du prisme, plus précis que les miens. C'est donc l'indice de la cristobalite qui est erroné. J'ai pris six cristaux de ce dernier minéral, les ai collés à côté l'un de l'autre sur la même plaque et les ai polis. La ligne de séparation donnée par le réfractomètre n'est pas très satisfaisante, mais il est incontestable que l'indice moyen est voisin de 1,49. Cette mesure est encore rendue plus difficile par le fait que l'arkanson, qui sert à coller les cristaux, est dissous par l'essence de cassia, aussi faut-il opérer très rapidement.

Les propriétés optiques de la cristobalite de Mayen ont été étudiées par M. A. Lacroix, qui a constaté qu'elles étaient identiques à celles des cristaux de San Cristobal observés par Mallard. Je n'ai rien à ajouter si ce n'est que j'ai trouvé un cristal qui, examiné suivant la face de l'octaèdre, montre six secteurs au lieu de trois, fait qu'on observe assez souvent dans les cristaux pseudo-cubiques.

Compte rendu des publications étrangères;

Par M. Jean Herbette.

G.-F. Herbert Smith : Sur les avantages de la projection gnomonique, etc. (*Mineralogical Magazine,* vol. XIII, n° 62, décembre 1903.)

La Note de M. H. Smith est destinée à faciliter l'emploi de la projection gnomonique; elle montre, en outre,

comment on peut se servir de cette projection quand on cherche à représenter les cristaux en perspective.

On trace une projection gnomonique avec la plus grande rapidité si l'on dispose, pour faire les mesures, d'un goniomètre à trois cercles. On choisit sur le cristal une zone, dite *zone de référence* et l'on prend pour plan de projection le plan perpendiculaire à l'axe de cette zone. Les pôles de la zone se projettent à l'infini, dans des directions qu'on note sur le contour de l'épure. Chaque mesure fait connaître, pour une face F, son azimut à partir de la zone de référence et sa distance angulaire à partir d'un des pôles de cette zone; on voit que le pôle de la face F se place ainsi immédiatement.

Soient, en effet :

P la trace de l'axe de la zone de référence;

PZ la direction dans laquelle se projette, à l'infini, le pôle de cette zone pris pour origine ;

PX une direction perpendiculaire à PZ;

Q le pôle d'une face quelconque.

En appelant r le rayon de la sphère, ρ la distance angu-

laire du pôle pris pour origine au pôle Q, et φ l'azimut de Q à partir de la zone de référence (compté sur le grand cercle

qui se projette suivant PX), on a

$$KQ = r \cot\rho \operatorname{coséc}\varphi,$$
$$PK = r \cot\varphi.$$

Pour faciliter le tracé, M. H. Smith se sert d'un *protracteur :* c'est un rapporteur en celluloïd, portant le long de son diamètre et le long du rayon perpendiculaire une division en millimètres. En outre, une table annexée à la Note de M. H. Smith donne les valeurs de $\cot\varphi$ et de $\cot\rho \operatorname{coséc}\varphi$ pour les grandeurs de ρ et de φ comprises entre 25° et 90°.

A l'aide du protracteur et de la table on peut, sans constructions ni calculs, tracer la projection d'un cristal, connaître l'angle de deux pôles quelconques, l'azimut d'une zone et l'angle de deux zones entre elles.

M. Doelter : Sur les silicates fondus. (*Procès-verbaux de l'Académie des Sciences de Vienne,* t. CXIII, Ire Partie.)

De ses travaux personnels et de ceux de ses élèves, M. Lenarcic et Mlle Wutschnik, M. Doelter a tiré des conclusions intéressantes et nouvelles sur les températures de fusion de divers silicates, isolés ou mélangés deux à deux, sur la cristallisation des magmas, et sur l'application que plusieurs auteurs, en particulier MM. Meyerhoffer et Vogt, ont faite aux silicates fondus des lois qui régissent les alliages ou les solutions étendues.

Les expériences ont été réalisées au moyen de fours électriques. Certaines ont même été exécutées avec un four très petit, monté sur la platine d'un microscope polarisant. L'incertitude dans l'évaluation des températures ne dépasse pas, paraît-il, 10° à 30°.

***

Nous signalerons d'abord quelques-uns des résultats obtenus par M. Doelter et ses élèves.

Les points de fusion des silicates qui entrent dans la composition des roches sont très voisins les uns des autres, et presque tous compris entre 1150° et 1250° [1]. Pendant le refroidissement d'un magma, la formation de minéraux cristallisés a lieu presque exclusivement entre 1180° et 930° (il y a généralement surfusion); les températures de 700° ou de 1200° à 1700°, indiquées dans certains Mémoires, seraient par conséquent erronées.

L'usage du microscope a permis d'étudier l'ordre dans lequel se déposent les minéraux pendant le refroidissement du magma [2]. Cette méthode, encore toute nouvelle, pourra donner des renseignements sur l'âge relatif des cristaux présents dans une même roche.

De nombreuses déterminations ont porté sur le point de fusion de mélanges de deux silicates, et ont conduit l'auteur à la conclusion suivante : la température de fusion d'un mélange de silicates *cristallisés* est supérieure à la température de fusion du silicate le plus fusible et voisine de la moyenne

---

(1) Voici quelques températures de fusion indiquées par l'auteur :

Minéraux.	Température de fusion à l'état cristallin.	à l'état amorphe (verre obtenu par fusion).
Anorthite (Vésuve)	1230	»
Orthose (Norvége)	1210	1190
Labradorite (Kief)	1210	1185
Augite (Monte-Rossi)	1185	1175
Leucite (Vésuve)	1310	1290
Acmite (Drammen)	965	915

(2) Ainsi, en laissant se refroidir un mélange fondu d'olivine et d'hédenbergite, on a observé : vers 1150°, un dépôt de magnétite; au-dessous de 1090°, une cristallisation d'olivine; à partir de 1010°, l'apparition d'augite. Le résidu donnait un verre.

arithmétique des températures de fusion des silicates pris isolément. Cette propriété distingue les mélanges de silicates des alliages et les rapproche des mélanges isomorphes.

Mais la même propriété n'appartient pas aux verres qu'on obtient en fondant deux silicates ensemble. Ces verres fondent d'ordinaire à une température plus basse que le plus fusible des corps qui les constituent ([1]).

Il est d'ailleurs à remarquer que les verres et les silicates cristallisés qui ont servi à les produire sont loin d'être comparables. Ce fait est évident quand des réactions chimiques se produisent dans la masse fondue. Mais même dans les cas de l'augite, de la leucite et du labrador qui, fondus isolément, recristallisent sans difficulté, la température de fusion de la forme vitreuse est de 10° à 25° inférieure à celle de la forme cristalline.

On a déjà vu qu'il se produisait généralement une surfusion

([1]) Voici un exemple : on a mélangé de l'augite de Monte-Rossi et de la labradorite de Kief. Le point de fusion se trouve entre les températures T_1 (ramollissement) et T_2 (fluidité complète) :

Proportions	Température de fusion du mélange cristallin.	Moyenne arithmétique des températures de fusion.	Température de fusion du verre obtenu en fondant les minéraux.
Augite pure.........	$T_1 = 1170$ $T_2 = 1190$	»	$T_1 = 1170$ $T_2 = 1180$
Labradorite 1....... Augite 10.......	$T_1 = 1190$ $T_2 = 1200$	1196	$T_1 = 1170$ $T_2 = 1180$
Labradorite 1....... Augite 5.......	$T_1 = 1185$ $T_2 = 1190$	1197	$T_1 = 1170$ $T_2 = 1175$
Labradorite 1....... Augite 1.......	$T_1 = 1185$ $T_2 = 1195$	1202	$T_1 = 1140$ $T_2 = 1150$
Labradorite 5....... Augite 1.......	$T_1 = 1195$ $T_2 = 1200$	1208	$T_1 = 1090$ $T_2 = 1100$
Labradorite 9....... Augite 1.......	$T_1 = 1180$ $T_2 = 1190$	1210	$T_1 = 1120$ $T_2 = 1135$
Labradorite pure....	$T_1 = 1200$ $T_2 = 1215$	»	$T_1 = 1190$ $T_2 = 1205$

du magma. Cette surfusion peut abaisser de 150° la température de solidification. Des expériences ont montré qu'on pouvait mettre fin à la surfusion, en agitant ou en amorçant la cristallisation, et les résultats obtenus par ces procédés ont été très différents de ceux qu'on observait quand la solidification se faisait d'elle-même.

⁂

On comprend comment, en se fondant sur les observations qui viennent d'être très incomplètement résumées, M. Doelter peut critiquer la règle de M. Meyerhoffer (1), d'après laquelle « l'ordre de cristallisation dépend essentiellement du mélange eutectique (2) et de la composition chimique de la matière fondue par rapport à lui ». Car, d'une part, il se produit dans le magma, où les composés paraissent profondément dissociés, des combinaisons nouvelles (3); et, d'autre part, la constitution du mélange eutectique est entièrement modifiée par la surfusion, qui a lieu toutes les fois qu'on néglige d'agiter, et qui a dû se réaliser souvent dans la nature. La règle de M. Meyerhoffer s'appliquerait mieux aux mélanges vitreux; mais ceux-ci ne sont ni physiquement, ni dans beaucoup de cas chimiquement comparables aux silicates qu'on y a fait entrer.

Des critiques non moins graves s'adressent à la théorie de

---

(1) *Zeitschrift für Kristallographie*, Bd. XXXVI, p. 592.

(2) Guthrie a désigné sous le nom de mélanges *eutectiques* des mélanges, ou des alliages, qui sans constituer des composés définis se forment suivant des proportions fixes et ont une température constante de solidification.

(3) M. Lenarcic décrit (*Centralblatt*, 1903, p. 746) une opération au cours de laquelle il a fondu de la leucite avec quatre fois autant d'augite, et qui lui a fourni un plagioclase, de l'augite, de la magnétite, de l'olivine et du verre, sans la moindre trace de leucite.

M. Vogt ([1]), d'après laquelle la fusibilité des minéraux réglerait l'ordre de leur cristallisation, les plus réfractaires se déposant les premiers. D'abord, cette théorie perd de son intérêt en ce qui concerne les silicates, si leurs points de fusion sont presque tous extrêmement voisins. De plus, elle n'est pas indispensable pour expliquer la formation des autres minéraux des roches; prenons la magnétite : dans un mélange fondu d'augite et de feldspaths tricliniques, elle commence à se déposer quand la température s'abaisse sensiblement au-dessous de 1200°, et ce dépôt continue jusqu'à une température beaucoup moins élevée, après qu'il s'est formé de l'augite et des plagioclases; il paraît naturel d'en conclure que ce n'est pas une cristallisation brusque qui s'opère, mais que la magnétite (qui se dissout facilement dans l'augite au-dessus de 1200°) a une solubilité de moins en moins grande quand le magma se refroidit, et s'en sépare à mesure que sa solubilité diminue. La même explication conviendrait au zircon et au corindon, peu solubles l'un et l'autre dans les magmas.

Enfin M. Doelter montre l'impossibilité d'appliquer aux silicates fondus, comme le proposait M. Vogt, la formule de Van't Hoff ([2])

$$t = \frac{m}{M} \frac{0{,}02\,T^2}{\lambda}.$$

Sans parler de l'ignorance où nous sommes de la valeur de λ et de l'incertitude sur la valeur de M (car la solution est, non pas étendue, mais concentrée et généralement en surfu-

([1]) *Tschermak's Mitteilungen*, Bd. XVI.

([2]) t représente la différence entre les températures de fusion du dissolvant pur et de la dissolution; m la masse en grammes de la substance ajoutée à 100^g du dissolvant; M est la masse moléculaire de cette substance; T la température de fusion (comptée à partir de 273°) du dissolvant pur; λ sa chaleur de fusion (en calories par gramme).

sion), il faut observer que la mesure de T est affectée d'une erreur de 10° à 20°, erreur d'autant plus grave que T est au carré dans la formule; au surplus, on peut faire varier dans les limites les plus étendues les proportions respectives des deux silicates en présence sans changer de plus de 20° à 30° le point de fusion du mélange. Dans ces conditions, toute vérification devient illusoire.

Encore arrive-t-il souvent que, dans le mélange fondu de deux silicates, il en apparaît un troisième, de sorte qu'on ne se trouve plus en présence d'une dissolution simple. Enfin, dans un grand nombre de cas, le point de fusion du mélange est supérieur à celui du composant le plus fusible, et l'abaissement de température prévu par la formule ne se produit plus du tout.

⁂

S'il ressort des conclusions de M. Doelter qu'une théorie de la cristallisation des magmas est, comme il le dit lui-même, prématurée, son travail n'en fournit pas moins des renseignement précieux sur la manière dont se comporte un mélange fondu de deux silicates. D'après lui, trois cas sont à distinguer :

A. Les mêmes corps réapparaissent. Alors, ou bien le silicate qui formait la majeure partie du mélange s'en sépare le premier; ou bien l'un des silicates se dépose constamment le premier, par suite de sa faible solubilité dans l'autre; ou bien, si les proportions des silicates mélangés sont voisines, c'est tantôt l'un et tantôt l'autre qui cristallise d'abord (suivant que l'on amorce, par exemple, avec un fragment de l'un ou de l'autre), ou tous deux cristallisent à la fois.

B. Il apparaît de nouveaux composés, parce qu'il y a dissociation, ou parce que l'un des corps mis en présence subit une transformation.

C. Un seul des silicates cristallise par refroidissement. Il peut arriver que l'autre reste dissimulé dans la matière vitreuse. Il peut arriver aussi que l'un des silicates soit pour ainsi dire absorbé par l'autre et qu'on ait affaire à des *cristaux mixtes anormaux*. Voici quelques exemples de ce dernier cas.

Si l'on fond un mélange de néphéline et de leucite plus riche en néphéline qu'en leucite, on obtient des cristaux mixtes qui ont la forme de la néphéline; mais, si l'on renverse les proportions du mélange, on obtient des cristaux de deux sortes, les uns formés de leucite et les autres de néphéline; ainsi la néphéline peut entraîner dans sa cristallisation une certaine quantité de leucite, sans que la réciproque soit possible. Un mélange d'hédenbergite et d'éléolite dans le rapport de 5 à 1 n'a donné que des cristaux ayant l'aspect de l'éléotite. Un mélange de 20 parties d'augite et 1 partie de labrador a cristallisé entièrement sous la forme de l'augite, sans laisser de résidu vitreux.

Ces phénomènes, qui ne paraissent pas s'expliquer par l'isodimorphisme, ont peut-être faussé plus d'une fois les analyses de silicates.

M. J. Samojlof : Relation entre le clivage des cristaux et leurs faciès. (*Comptes rendus de la Société minéralogique de Saint-Pétersbourg,* t. XLI, fascicule 1.)

Le faciès des cristaux peut, d'après M. Samojlof, différer en deux manières de leur aspect théorique : ou bien certaines faces d'une même forme prennent un développement exagéré, comme on l'observe dans l'alun, où deux faces a^1 (111) prédominent souvent; ou bien une forme peut grandir au détriment des autres, et donner, dans les systèmes autres que le

système terquaternaire, des cristaux aplatis ou allongés (ainsi, dans la barytine, *p*(**001**) est souvent très étendu et *m*(**110**) très réduit).

C'est cette dernière anomalie seulement que M. Samojlof a tenté d'expliquer : il croit trouver une relation entre la direction du clivage et le développement privilégié de certaines formes. Il exprime cette relation en disant : « Les cristaux s'accroissent de préférence parallèlement à la direction du clivage. »

Dans les systèmes asymétrique, binaire et terbinaire, les conséquences de cette loi sont les suivantes : si le clivage a lieu suivant un plan normal à l'un des axes cristallographiques, les cristaux grandissent ou bien suivant les deux autres axes à la fois, ce qui leur donne un faciès tabulaire; ou bien suivant un de ces axes seulement, ce qui produit un faciès allongé. Si le clivage a lieu suivant les faces d'une forme prismatique quelconque, le cristal s'étend suivant l'axe du prisme : ainsi, à un clivage (**110**) conviendra un allongement suivant l'axe des *c*, les individus pouvant d'ailleurs présenter soit un développement égal de toutes les formes de la zone, soit un aplatissement, suivant (**010**) par exemple.

Dans les systèmes sénaire et ternaire, M. Samojlof ne cite que des clivages (**0001**) et (**10$\bar{1}$0**), correspondant respectivement à un aplatissement suivant (**0001**) et à un allongement suivant l'axe vertical. Dans le système quaternaire, il indique, outre des clivages (**001**) et (**100**), comparables à ceux dont nous venons de parler, un clivage (**111**), qui communique aux cristaux un faciès pyramidal.

A l'appui de sa théorie, l'auteur invoque environ cent cinquante exemples; il cite également sept ou huit minéraux qui s'en écartent. Tous les corps qu'il énumère sont des produits naturels, doués de clivages faciles.

Si intéressante qu'elle soit, la thèse de M. Samojlof n'échappe

pas à certaines objections. Il est presque superflu de lui opposer l'émeraude et la topaze, l'une et l'autre allongées perpendiculairement à leur clivage. Elle donne, sur le faciès de certains cristaux, des indications trop vagues : ainsi elle assigne indifféremment à la barytine, clivable suivant $p(001)$ et $m(110)$, un allongement suivant l'axe des a, ou celui des b, ou celui des c, ou un aplatissement suivant l'un des plans (001), (100), (010). Enfin elle ne permet guère de prévoir le faciès des nombreux minéraux ternaires clivables suivant $p(10\bar{1}1)$, faciès qui dans la calcite peut être si varié.

Il est probable qu'on arriverait à des conclusions plus précises si, au lieu d'envisager uniquement les cristaux naturels, dont la formation est soumise à des influences multiples et inconnues, on étudiait des cristaux artificiels. C'est d'ailleurs la méthode que recommande M. Samojlof.

Minéraux nouveaux.

Par M. Paul Gaubert.

Palachéite. — Masses cristallines d'un rouge foncé trouvées dans le cinabre de Redington à Knoxville, Californie.

Monoclinique :

$$a : b : c = 0,6554 : 1 : 0,3996;\ \beta = 117^\circ 9'.$$

Les formes observées sont $p(001)$, $m(110)$, $g^1(010)$, $g^3(120)$, $g^5(450)$, $h^1(100)$, $e^1(011)$, $e^{\frac{1}{2}}(\bar{0}21)$ $a^{\frac{1}{2}}(\bar{2}01)$ $b^{\frac{1}{2}}(\bar{1}11)$, $(\bar{1}21)$. Les formes dominantes sont p, m, g^3. Clivage parfait suivant g^1 distinct suivant m.

Densité 2,075. Dureté 1,5 à 2.

Le plan des axes optiques est perpendiculaire à g^1.

La bissectrice aiguë, positive, fait un angle de 12° avec c dans l'angle aigu β. $n_m = 1,548$. $n_g - n_p = 0,028$, $2V = 40^\circ 54'$. $\rho < v$.

Le pléochroïsme est intense. La couleur est orangé rouge suivant n_g, rouge pâle suivant n_m et jaune suivant n_p.

La composition chimique est représentée par la formule

$$Fe^2O^3, 2MgO, 4SO^3 + 15H^2O.$$

Ce minéral est peut-être identique à la rubrite de Domeyko qui n'a été qu'imparfaitement décrite (Arthur-S. Eakle, *Bul. Dep. Geology Univ. California*, t. III, n° 9, 1903, p. 231).

Naegite. — Ce minéral, de couleur vert pistache presque noir, gris vert ou rouge brun, forme des agrégats sphéroïdes avec pointements arrondis, et rarement avec des cristaux de 3mm à 5mm ressemblant à un pseudo-dodécaèdre.

Quadratique : l'angle $b^{\frac{1}{2}}b^{\frac{1}{2}}(111)(1\bar{1}1) = 56°30'$.

La dureté est de 7,5 et la densité de 4,09.

En lames minces la naëgite a une couleur vert d'herbe, est transparente, très réfringente, à extinction longitudinale quand le minéral n'est pas isotrope, ce qui est le cas le plus général.

L'analyse faite par M. Tramaru a donné les résultats suivants :

SiO^2 34,89; UO^2 28,27; ThO^2 16,50; Ta^2O^5 7; Nb^2O^5 4,10; CeO^2 1,59; Fe^2O^3 1,60; CaO 1,71; MgO 0,57; H^2O 3,12; Total : 99,35.

Par ses propriétés cristallographiques et chimiques, le minéral appartient probablement à la famille du zircon. Il est radioactif. Il tire son nom de la localité Naëgi, près de Takayama, province de Mino, Japon (Tsunushiro Wada, *Minerals of Japan*, Tokyo, 1904, p. 49).

Le Secrétaire gérant :

Maurice BLONDEL.

34644 Paris. — Imprimerie GAUTHIER-VILLARS, quai des Grands-Augustins, 55.

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE.

ANNÉE 1904. — BULLETIN N° 9.

Compte rendu de la Séance du 8 décembre 1904.

PRÉSIDENCE DE M. DUFET.

M. le PRÉSIDENT proclame membre de la Société :

M. GRANGER, professeur à l'École d'application de la manufacture de Sèvres, présenté par MM. Michel et de Schulten.

M. le PRÉSIDENT annonce deux présentations.

M. PAVOT montre quelques échantillons de *caillou de Rennes*.

M. TERMIER met sous les yeux de la Société des cristaux de *thorianite*, offerts à l'École des Mines par l'École municipale de Physique et de Chimie de Paris.

La thorianite est une espèce minérale récemment découverte dans les sables à gemmes de Ceylan. Le nom a été donné par M. Wyndham Dunstan [1]. On a retrouvé le même minéral, à Ceylan, dans une pegmatite.

[1] *Nature*, t. LXIX, n° 1796, p. 510.

Diverses analyses ont été faites, desquelles il semble résulter que la thorianite est surtout formée de thorine (environ 73 pour 100) et d'oxyde d'urane (environ 14 pour 100). Voici les nombres trouvés par M. Petit, à l'École municipale de Physique et de Chimie de Paris [1].

Densité : 8,34.

Inattaqué et insoluble dans l'acide sulfurique	1,0
Oxyde de thorium (ThO^2)	73,4
Autres oxydes de terres rares	5,8
Oxyde d'urane (dosé à l'état de U^3O^4)	14,6
Oxyde de fer, alumine, etc	5,3

Les cristaux de thorianite sont des cubes, parfois entrecroisés à la façon des cubes de fluorine La couleur et l'éclat rappellent la pechblende. Le minéral est translucide en lames minces et semble rigoureusement isotrope.

D'après M. Jecker, la thorianite aurait une radioactivité intense, environ deux fois plus grande que celle de l'uranium métallique.

D'après Sir William Ramsay [2], la thorianite chauffée seule dégage, par gramme, $3^{cm^3},5$ d'hélium; chauffée avec du bisulfate de potasse, elle a donné, par gramme, jusqu'à $9^{cm^3},5$ d'hélium.

M. Pisani présente un bel échantillon d'*aigue marine* et des cristaux maclés de *cassitérite* de la Villeder.

M. A. Lacroix fait une communication sur un phosphate

---

(1) Cette analyse et les renseignements qui suivent sont empruntés à un article de M. Louis Jecker, publié par la revue *Le Radium* (n° 2, 15 août 1904, p. 44).

(2) *Nature*, n° 1797, p. 533.

d'alumine qu'il a rencontré à la Martinique et qui résulte de l'action du guano sur un tuf andésitique.

M. DE ROMEU fait une communication sur une enclave énallogène de l'andésite supérieure du Lioran (Cantal).

M. WYROUBOFF poursuit ses recherches sur l'isomorphisme de quelques silicotungstates.

Une note sur ce sujet sera prochainement publiée dans le *Bulletin*.

Sur la grandidiérite;

Par M. A. LACROIX.

Dans le *Bulletin* de 1902 j'ai donné [1] une description préliminaire d'un nouveau minéral, la *grandidiérite*, dont je venais de trouver un fragment parmi quelques roches rapportées du sud de Madagascar par M. Alluaud.

J'ai envoyé une partie de cet échantillon unique à M. le commandant Blondlot, alors directeur du Cercle de Fort-Dauphin; il a pu retrouver l'indigène qui avait servi de guide à M. Alluaud et l'endroit précis où ce voyageur avait recueilli ses roches; j'ai pu ainsi obtenir des échantillons suffisants pour permettre l'étude complète du minéral.

La grandidiérite est l'un des éléments d'une pegmatite et d'une aplite des falaises d'Andrahomana, près de Fort-Dauphin, à l'extrême sud de Madagascar. Elle y est accompagnée

---

[1] *Bull. Soc. franç. Minér.*, t. XXV, 1902, p. 85 et *Comptes rendus*, t. CXXXVII, 1903, p. 582.

par du quartz, de l'orthose et du microcline, du grenat almandin, du spinelle pléonaste et enfin par un peu de biotite et d'andalousite. Elle forme de grands cristaux pouvant atteindre 8cm de longueur et ne présentant pas d'autres formes géométriques que deux plans de clivage rectangulaires, interrompus et inégalement faciles : ils font partie de la zone d'allongement. Ces cristaux englobent pœcilitiquement tous les autres éléments de la roche.

La couleur de la grandidiérite est le vert bleuâtre. Son éclat est vitreux, un peu nacré sur le clivage le plus facile h^1(100). Le minéral est orthorhombique : en lumière polarisée parallèle, l'extinction se fait en effet parallèlement à l'axe vertical dans les deux clivages rectangulaires et parallèlement à la trace de ceux-ci dans la section perpendiculaire à l'axe vertical; les trois axes de l'ellipsoïde optique sont donc respectivement perpendiculaires aux clivages h^1, g^1 et à p.

Le plan des axes optiques est parallèle à p, c'est-à-dire transversal à l'allongement; la bissectrice aiguë est négative et perpendiculaire à h^1. Les indices ont été mesurés par la méthode de la réflexion totale à l'aide de plaques normales aux bissectrices

$$n_g = 1,6385 \quad (\mathrm{Na}),$$
$$n_m = 1,6360$$
$$n_p = 1,6018$$

d'où

$$n_g - n_p = 0,0367 \qquad \text{et} \qquad 2\mathrm{V} = 30^\circ 16'.$$

La mesure directe de l'écartement des axes m'a fourni

$$2\mathrm{E} = 49^\circ 30' \qquad \text{d'où} \qquad 2\mathrm{V} = 29^\circ 40'.$$

La dispersion des axes est $\rho < v$[$2\mathrm{E} = 52^\circ$ (Th.)]. L'examen des sections normales à la bissectrice ne montre pas de dispersion de celle-ci, aussi ne me suis-je pas arrêté à une légère

obliquité d'extinction dans quelques-unes des plaques parallèles à g^1 que j'ai examinées et qui n'ont pu être taillées dans une direction très rigoureuse à cause de l'imperfection de ce clivage.

Le caractère distinctif, qui a tout d'abord appelé mon attention sur ce minéral et m'a montré qu'il ne correspond à aucune espèce connue, réside dans les phénomènes d'absorption qu'il présente. Le pléochroïsme est, en effet, extrêmement intense dans les teintes suivantes, avec $n_p > n_g > n_m$:

	Plaques de 0mm,5.	Plaques de 0mm,02.
n_g =	vert foncé.	vert bleuâtre pâle.
n_m =	incolore.	incolore.
n_p =	bleu vert foncé.	bleu vert pâle.

Au point de vue de son diagnostic, dans les lames minces de roches, il faut donc retenir que la grandidiérite est incolore suivant la direction d'allongement et colorée en bleu ou en vert transversalement à celle-ci.

Il était à prévoir qu'un minéral possédant un semblable pléochroïsme devait présenter le phénomène des houppes. J'ai donc fait tailler des plaques perpendiculaires à un axe optique; on constate très nettement dans celles-ci deux houppes bleues sur un fond blanc; l'écartement des axes optiques étant faible, elles sont déjà visibles dans une plaque perpendiculaire à la bissectrice aiguë, quand on l'incline suffisamment. On sait que les minéraux présentant les houppes se divisent en deux groupes. Dans l'un, qui comprend l'axinite, la cordiérite, l'épidote, l'augite, la muscovite, les houppes sombres, perpendiculaires à la trace du plan des axes optiques, apparaissent sur un fond clair quand cette trace est placée *normalement* à la section principale du polariseur. Dans l'autre, au contraire, les houppes présentent cette même apparence, lorsque la trace du plan des axes est

disposée *parallèlement* à la section principale du polariseur. La grandidiérite appartient à ce dernier groupe, qui pendant longtemps n'était connu que par l'andalousite, mais qui comprend aussi, d'après M. Liebisch, l'anomite, l'érythrine, la vivianite, le sphène et la hornblende basaltique.

La densité de la grandidiérite est de 2,99. Le minéral est infusible au chalumeau, inattaquable par les acides. L'analyse a été faite par M. Pisani sur une substance que j'ai isolée par des séparations répétées à l'aide de l'iodure de méthylène : sa pureté a été vérifiée par un examen microscopique. Le bore, le fluor et le titane y ont été recherchés sans succès :

		Rapports moléculaires.	
SiO^2	20,90	0,518	0,348
Al^2O^3	52,80	0,041	0,559
Fe^2O^3	6,60	0,068	
FeO	4,86	0,068	0,347
MgO	9,65	0,241	
CaO	2,10	0,038	
Na^2O	2,22	0,035	0,106
K^2O	0,40	0,004	
H^2O	1,25	0,067	
	100,78		

Cette analyse conduit à la formule

$$7SiO^2,\ 11(Al, Fe)^2O^3,\ 7(Mg, Fe, Ca)O,\ 2(Na, K, H)^2O.$$

La grandidiérite est donc l'un des plus basiques des silicates connus; elle vient prendre place au voisinage de la saphirine et de la staurotide pour laquelle M. Friedel a proposé une formule analogue à celle que je donne plus haut

$$11SiO^2,\ 12(Al, Fe)^2O^3,\ 6(Fe, Mg)O,\ 2H^2O.$$

Les propriétés optiques de ces deux minéraux sont d'ailleurs très différentes.

La grandidiérite se distingue facilement du silicate bleu (*sérendibite*) des contacts granitiques de Ceylan, récemment décrit par MM. G.-T. Prior et A.-K. Coomáraswámy (1) et dont la composition est représentée par la formule

$$6SiO^2, B^2O^3, 5Al^2O^3, 10(Fe, Ca, Mg)O.$$

La couleur de la sérendibite et les teintes de son pléochroïsme sont d'ailleurs très foncées et rappellent celles de la klaprothine, d'après l'échantillon qu'a bien voulu m'envoyer M. Coomáraswámy; ce minéral est triclinique et présente des macles polysynthétiques, simulant celles des plagioclases; enfin sa biréfringence est faible. Ces diverses propriétés optiques ne permettent pas de confondre la sérendibite, dans les plaques minces de roches, avec mon nouveau minéral.

Malgré la résistance aux agents chimiques de nos laboratoires, la grandidiérite, de même que les silicates du groupe auquel elle appartient, se décompose assez facilement dans la nature; elle se transforme alors en une substance verte, fibro-lamellaire, à deux axes rapprochés autour d'une bissectrice aiguë négative perpendiculaire à son plan de lamellisation : elle paraît se rapprocher du *kryptotile* qui épigénise la prismatine de Waldheim. Je ne l'ai rencontrée qu'en trop petite quantité pour qu'il m'ait été possible de l'isoler et de l'étudier plus complètement.

En outre de l'échantillon qui m'a servi à déterminer les propriétés de la grandidiérite, j'ai pu examiner de petits fragments détachés des mêmes roches; l'un d'eux, assez altéré, imprégné de calcite et de limonite, a appelé mon

(1) *Min. Magaz.*, 1903, t. XIII, p. 224.

attention par son aspect plus verdâtre. Une lame mince a été taillée parallèlement au clivage le plus facile; elle m'a permis de constater que la grandidiérite y est groupée à axes parallèles avec un minéral que je n'ai pu assimiler à aucune espèce connue. Il est incolore; sa réfringence et sa biréfrin-

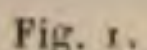


Fig. 1.

Andalousite (dans quartz) à peu près parallèle à h^1, montrant la distribution régulière du pigment coloré.

gence, le signe négatif de sa bissectrice, l'écartement des axes ne diffèrent guère de ceux de la grandidiérite, mais l'extinction, rapportée à la séparation rectiligne des deux minéraux, en l'absence de clivage distinct dans la substance incolore, est de 11°; de plus, le plan des axes optiques, au lieu d'être

transversal à l'allongement, fait avec celui-ci cet angle de 11°. Le petit fragment étudié ayant été sacrifié entièrement pour la confection de la plaque, je suis obligé de rester dans l'incertitude au sujet de la nature de ce minéral que je n'ai pas rencontré dans mes autres échantillons.

Parmi les minéraux qui accompagnent la grandidiérite une mention doit être faite pour l'andalousite, qui ne constitue que des cristaux microscopiques. La figure ci-jointe est la reproduction de la section h^1 (100) de l'un d'eux, perpendiculaire à la bissectrice obtuse n_g; elle met en évidence la disposition régulière du pigment coloré rose, qui est concentré dans le milieu du cristal et offre une forme hémimorphe par rapport à l'axe vertical. L'angle plan du dôme réduit à deux faces est d'environ 71°, ce qui correspond à $e^{\frac{1}{2}}$ (021), non signalé dans l'andalousite ($e^{\frac{1}{2}}$ $e^{\frac{1}{2}}$ sur $p = 70°54'$ en partant des paramètres de Des Cloizeaux).

Cette disposition curieuse m'a conduit à me demander si l'andalousite ne serait pas hémimorphe : les cristaux de ce minéral présentant des faces autres que celle de la forme primitive sont si rares que cette propriété aurait bien pu passer inaperçue. Des essais pour la recherche de la pyroélectricité n'ont donné que des résultats négatifs et par suite n'ont pas confirmé cette hypothèse.

Roches à lawsonite et à glaucophane, et roches à riébeckite de Saint-Véran (Hautes-Alpes);

Par M. Pierre Termier.

La haute vallée de l'Aigue-Blanche, tributaire du Guil, est creusée dans les *Schistes lustrés*. c'est-à-dire dans une puis-

sante série cristallophyllienne où alternent les calcschistes à séricite, les micaschistes et chloritoschistes, les marbres micacés, et les lentilles (ou amas) de *roches vertes*, plus ou moins serpentinisées. Toute cette formation, qui est évidemment repliée plusieurs fois sur elle-même, présente une allure isoclinale. Les assises sont dirigées vers le nord, ou vers le nord-nord-ouest; elles plongent vers l'ouest, sous un angle variable dont la moyenne est d'environ 40°.

On sait que ces Schistes lustrés sont une *série compréhensive*, embrassant sous un facies uniforme un grand nombre d'étages géologiques. Ils sont postérieurs au Trias moyen. Je crois qu'ils forment une série continue, allant du Trias supérieur à l'Eocène.

Quand on remonte la vallée, en suivant le chemin qui va de Saint-Véran aux pâturages de Clousis, on atteint bientôt (¹) les affleurements d'une masse de serpentine, épaisse de plusieurs centaines de mètres, et qui est exploitée, au-dessus du chemin, pour pierres d'ornement (appelées dans le pays *marbre vert*).

Au-dessus de cette carrière de serpentine, dans le thalweg d'un petit ravin qui descend du col Traversier, entre les cotes 2350m et 2500m, s'ouvrent plusieurs galeries de recherches qui ont pour objet la reconnaissance d'un gisement de cuivre.

Le minerai de cuivre (phillipsite et, accessoirement, chalcopyrite) se présente en veinules interstratifiées dans la formation schisteuse, non pas au contact même de l'amas de serpentine, mais à une cinquantaine de mètres *au mur* de cet amas. Les schistes qui encaissent ces veinules de sulfures sont des schistes quartzeux durs, micacés, chloriteux et

(¹) A 5km environ de Saint-Véran. Pour la géologie de cette région, *voir* la feuille *Larche* de la Carte géologique de la France (contours par MM. Kilian et Zürcher), publiée en 1904.

amphiboliques. Il y a, au mur de l'amas de serpentine, et plongeant à 40° sous cet amas, un étage, épais d'environ 70m, de ces schistes durs. Cet étage repose à son tour sur les calcschistes à séricite du type ordinaire, dans lesquels il n'y a plus ni minerai de cuivre, ni amphibole. Dans l'étage des schistes quartzeux et amphiboliques, on voit un banc, épais de quelques mètres, d'un marbre blanc tacheté de rouge ([1]), fortement chargé de mica blanc.

Le *glaucophane* a été rencontré par la plus basse des galeries de recherches, dans l'amas même de roche serpentineuse, mais tout près de son bord inférieur. On est passé, en ouvrant cette galerie, de la serpentine massive à des schistes tendres à glaucophane, puis à des gabbros très durs, fort altérés, chargés de glaucophane. C'est le type de gisement bien connu, où le glaucophane apparaît comme un élément de la transformation des gabbros ([2]).

Les roches schisteuses tendres ont une couleur gris violacé. Elles ne renferment guère que du glaucophane, en très petites aiguilles. C'est à peine si le microscope décèle, dans ce feutrage, quelques grains de sphène et d'ilménite, et quelques paillettes de mica blanc. Les gabbros durs ont une teinte violacée plus ou moins foncée, souvent mêlée de vert. Au microscope, on y voit de nombreuses aiguilles de glaucophane, tantôt groupées en paquets ou en houppes, tantôt disséminées dans une mosaïque de très petits cristaux de *lawsonite*. Il y a aussi un peu de sphène et, çà et là, de la chlorite. Le feld-

---

([1]) Ces taches rouges font songer d'abord à de petits grenats. Au microscope, on voit qu'elles sont dues simplement à la rubéfaction de la calcite par un peu d'oxyde de fer.

([2]) A. Lacroix, *Minéralogie de la France et de ses colonies*, t. I, p. 703-708. — S. Franchi, *Contribuzione allo studio delle roccie a glaucofane e del metamorfismo onde ebbero origine nella regione ligure-alpina occidentale* (*Bollettino del R. Comitato geolog.*, 1902, n° 4).

spath (albite secondaire) est fort rare. Toute trace de la structure originelle a disparu.

Les propriétés optiques du glaucophane ne présentent rien de particulier. La couleur est très pâle, souvent variable dans un même cristal.

La lawsonite est identique à celle que MM. Franchi et Stella ont signalée, en 1895 et 1896 ([1]), dans diverses roches métamorphiques du Piémont, et à celle aussi que M. A. Lacroix ([2]) a décrite dans les gabbros saussuritisés et glaucophanisés de la Corse et de la Nouvelle-Calédonie. Les cristaux sont fréquemment idiomorphes (baguettes rectangulaires). Leur biréfringence est un peu supérieure à 0,02.

La serpentine reparaît au delà des roches à glaucophane. Puis vient l'étage des schistes quartzeux durs, micacés, chloriteux, parfois cuprifères, parfois amphiboliques. L'amphibole qu'ils renferment est de la *riébeckite*.

Ce minéral est, à l'œil nu, tellement foncé qu'il semble presque noir. La couleur bleue n'est guère visible que dans les roches formées d'un feutrage de très petites aiguilles. Tantôt il se présente en minces feuillets, alternant avec des feuillets de quartz; tantôt il constitue, sur plusieurs centimètres d'épaisseur, des enchevêtrements massifs de cristaux très fins; tantôt il apparaît en houppes radiées, disséminées au milieu d'une épidote fibreuse de couleur sombre, et mêlées à de beaux octaèdres de magnétite.

La bande de schistes à riébeckite se poursuit, au sud de la mine de cuivre, jusqu'au delà du torrent de l'Aigue-Blanche. A la base des pics du Longet, au-dessus de la chapelle des Clousis, j'ai retrouvé les affleurements de ces schistes, tou-

---

([1]) *Voir*, au tome XX de ce *Bulletin*, une petite Note sur cette découverte : p. 5 à 7.

([2]) A. Lacroix, *Sur la lawsonite de Corse et de la Nouvelle-Calédonie* (*Bull. Soc. de Minéralogie*, t. XX, 1897, p. 309-312).

jours compris entre la bande de roches vertes et la bande de calcschistes.

Les propriétés optiques de la riébeckite de Saint-Véran sont les suivantes. Couleur très foncée; polychroïsme très énergique avec les teintes principales bleu indigo, bleu violacé, vert jaunâtre clair. Ces teintes varient un peu de ton et d'intensité d'un cristal à l'autre, et aussi dans le même cristal. La dispersion est très sensible. La biréfringence ne dépasse pas 0,007. L'allongement est négatif, la bissectrice n_p faisant avec l'axe vertical un très petit angle.

Ces roches à riébeckite de Saint-Véran sont entièrement analogues, et comme composition, et comme gisement, à celles qu'a décrites M. A. Lacroix (¹) et qui provenaient, les unes de la région du Mont-Cenis, les autres de Vezzani (Corse). Il est probable que, tout le long de la *zone des Schistes lustrés*, depuis la Corse jusqu'à la terminaison orientale des Hohe Tauern, on trouvera de nombreux affleurements de schistes semblables.

Les schistes à riébeckite de Saint-Véran sont de *véritables schistes*. Je veux dire que ce sont des roches sédimentaires métamorphiques, et non pas des roches intrusives (ou volcaniques) décomposées et laminées. Au contraire, les roches à glaucophane de la même localité sont, de toute évidence, des gabbros transformés. Mais il n'est guère douteux qu'il n'y ait une relation entre ces gabbros glaucophanisés et les schistes à riébeckite voisins; et je considère ces derniers schistes comme des sédiments ayant subi un métamorphisme spécial, et un enrichissement exceptionnel en silicium et en sodium, au moment de la mise en place de la roche éruptive.

(¹) A. Lacroix, *Minéralogie de la France et de ses Colonies*, t. I, p. 698.

Au cours du charriage dans le magma andésitique, cette enclave n'a été préservée de la destruction que grâce à la présence dans l'orthose de nombreux minéraux très réfractaires à la chaleur et à l'action chimique du magma. Les propriétés optiques de ce feldspath ont été déformées par la chaleur, comme cela a lieu si souvent dans les enclaves des roches volcaniques.

Note sur la minéralogie de Tahiti;

Par M. A. Lacroix.

La constitution géologique de notre colonie de Tahiti est à peu près inconnue; on sait seulement par de brefs récits de voyageurs que des roches volcaniques basaltiques (non étudiées d'ailleurs) y abondent sous forme de coulées et de tufs, au moins au voisinage du littoral; quant au centre montagneux et désert de l'île, il a été peu exploré, en raison de la difficulté d'accès de ses vallées profondes et de ses pics escarpés, dont l'altitude maximum atteint 2237^{m}.

I. — Les roches a néphéline.

Mon attention a été appelée sur la minéralogie de cette île par un caillou roulé, indiqué dans l'ancien Musée des Colonies comme provenant de la rivière de Papénoo. La roche qui le constitue est identique à celles que j'ai proposé de désigner sous le nom de *monzonites néphéliniques* et dont j'ai montré l'existence dans le nord-ouest de Madagascar. A la suite de la description que j'en ai donnée dans un Mémoire consacré aux roches sodiques de la Grande Ile [1], j'ai fait remarquer

---

[1] *Les roches alcalines caractérisant la province pétrographique d'Ampasindava* (*Nouvelles archives du Muséum*, t. I, 1902 et t. II, 1903).

qu'elle était vraisemblablement l'indice de l'existence à Tahiti d'une province pétrographique analogue à celle de Madagascar.

En 1901, un zoologiste du Muséum, M. Seurat, ayant été chargé d'une mission dans nos possessions de l'Océanie, je lui ai remis avant son départ un fragment de cette roche en le priant de rechercher son gisement exact; à deux reprises, M. Seurat m'a envoyé d'importantes collections, recueillies par lui dans l'est, le nord et le centre de Tahiti; elles viennent confirmer mes prévisions au delà de toute espérance. Elles démontrent, en effet, l'existence dans cette île d'une série pétrographique remarquable, comprenant, en fait de roches grenues, des *syénites néphéliniques*, des *monzonites néphéliniques*, des *gabbros néphéliniques*, des *gabbros amphiboliques*, et enfin des roches à grain très fin et plus ou moins microlitiques (*camptonites, monchiquites, tinguaïtes*).

Ces roches forment des affleurements considérables dans la vallée de Vai Tuoru (Grande vallée de Papénoo), souvent extrêmement étroite, bordée par de très hautes falaises et aboutissant à un vaste cirque, que dominent les cimes les plus élevées de l'île. La même vallée renferme également des coulées et des tufs basaltiques, qui existent seuls dans les vallées de Punaruu, de Fautaua, ainsi que dans la région comprise entre Papénoo et Tiareï.

La caractéristique commune de presque toutes les roches qui nous occupent réside dans l'existence de la néphéline, de l'augite et d'une amphibole brune (verdissant parfois sur les bords) du groupe de la barkévicite.

Les *syénites néphéliniques* sont très leucocrates, leurs feldspaths, généralement aplatis suivant g^1(010) et enchevêtrés, sont constitués par de l'orthose et de l'anorthose; la néphéline et la sodalite leur sont en moyenne postérieures; l'amphibole et le pyroxène sont automorphes, accompagnés de sphène,

d'apatite et de titanomagnétite. La structure, en résumé, est celle de la foyaïte. Une syénite néphélinique à grains fins, formant des filons minces dans les gabbros, possède une structure différente; l'orthose n'y est pas aplatie et la néphéline se présente en cristaux automorphes; enfin la biotite remplace l'amphibole de la roche précédente.

Les *monzonites néphéliniques* offrent l'analogie la plus frappante avec celles de Madagascar; comme dans cette région, elles paraissent constituer plutôt un facies de variation des syénites que des gisements distincts. Elles présentent d'ailleurs de nombreux passages avec les syénites, grâce à l'apparition dans celles-ci de grands cristaux de labrador basique ou de bytownite, autour desquels viennent s'orienter, à axes parallèles, l'orthose ou l'anorthose. Ces roches sont généralement plus riches en sphène et en apatite que les syénites; de même que dans celles-ci, l'amphibole est souvent en partie résorbée et transformée en un mélange de microlites d'augite et de titanomagnétite. Ces monzonites présentent des variétés pegmatoïdes, dont les éléments, et notamment la barkévicite, atteignent plusieurs centimètres de plus grande dimension; elles sont parfois très riches en néphéline, dont les plages, accompagnées de sodalite et d'analcime (cette dernière probablement primaire, comme à Madagascar), enveloppent les feldspaths.

Les *gabbros néphéliniques* sont essentiellement constitués par de l'augite, de la biotite et de la barkévicite; ces trois minéraux sont généralement enchevêtrés les uns dans les autres et enveloppent ophitiquement des plagioclases très basiques (labrador-bytownite et bytownite) un peu aplatis; de grandes plages de néphéline sont postérieures à tous les minéraux précédents; l'olivine, l'apatite en énormes cristaux, la titanomagnétite enfin sont toujours très abondantes. L'existence dans quelques échantillons d'une petite quantité d'or-

those indique un passage à des types basiques (*essexites*) de monzonites néphéliniques, que des recherches sur le terrain permettront certainement de rencontrer dans les mêmes gisements.

La disparition de la biotite et de la néphéline, l'augmentation de la teneur en augite, conduisent à des *gabbros amphiboliques* (gabbros dioritiques), tout à fait identiques, eux aussi, à ceux de Madagascar. Je n'ai trouvé qu'un seul échantillon d'une sorte de diabase ophitique à barkévicite (*protérobase*), qui semble constituer une variation moins basique de cette même roche.

Les *monchiquites* et les *camptonites,* à aspect extérieur basaltique, présentent les caractères habituels : longs microlites et phénocristaux de barkévicite et parfois microlites d'augite, accompagnés, soit de plagioclases basiques (camptonites), soit d'analcime (monchiquites) ; il existe des passages ménagés entre ces deux types extrêmes. Enfin les *tinguaïtes,* formant dans la rivière des galets d'un vert poireau, très compacts, ne renferment que quelques phénocristaux d'orthose, disséminés dans une pâte riche en microlites filiformes d'ægyrine, associés à de l'orthose, à de la néphéline et à du verre.

En résumé, les roches qui viennent d'être brièvement décrites constituent une série pétrographique remarquablement continue, dont les variations minéralogiques très étendues sont essentiellement le résultat d'une augmentation progressive de la teneur en chaux, en fer et en magnésie, accompagnant une diminution corrélative de la teneur en silice et en alcalis.

Je n'ai reçu encore aucun renseignement sur les relations géologiques des roches qui constituent cette série; mais la considération des enclaves et des filons que présentent les gros blocs étudiés montre, dès à présent, que les gabbros ne-

phéliniques ou simplement amphiboliques sont antérieurs aux syénites et aux monzonites néphéliniques et que celles-ci, à leur tour, sont traversées par des filons minces de monchiquites-camptonites et de tinguaïtes; c'est là l'ordre que j'ai établi pour les roches similaires de Madagascar.

En terminant, je ferai remarquer l'intérêt que présente la découverte de cette nouvelle province pétrographique à un point de vue général. Les roches alcalines ont été pendant longtemps considérées comme des exceptions, localisées dans un petit nombre de contrées. Peu à peu, elles sont rencontrées dans les régions les plus éloignées les unes des autres. La Polynésie était restée l'une des parties du globe où il en avait été à peine question; un seul gisement de syénite néphélinique y était en effet connu ([1]) jusqu'à présent, à l'île Viti Lévu, dans l'archipel Viti (Fiji), situé à environ 3200^{km} à l'ouest de Tahiti.

En général, les syénites néphéliniques existent rarement seules, elles sont d'ordinaire accompagnées d'autres types de roches alcalines dont l'ensemble possède le plus souvent quelques particularités communes, caractéristiques de la province pétrographique; il est intéressant de remarquer à ce point de vue l'analogie que les roches de Tahiti qui viennent d'être décrites présentent, jusque dans certains de leurs détails, non seulement avec celles de Madagascar, mais encore avec celles des environs de Montréal, au Canada.

II. — Les basaltes et leurs minéraux.

Les roches volcaniques récentes, de nature basaltique, ont traversé les roches qui viennent d'être décrites; l'étude chimique seule permettra d'élucider les relations pouvant exister

([1]) A. Wichmann, *Tschermak's min. und petr. Mittheil.*, t. V, 1882, p. 1.

entre ces *basaltes* et la série néphélinique, mais leur composition minéralogique permet déjà de prévoir avec de grandes vraisemblances qu'ils présentent au point de vue chimique une parenté fort nette avec les gabbros amphiboliques de la série plus ancienne. Ces basaltes sont tous très basiques; beaucoup d'entre eux renferment de gros cristaux porphyriques d'augite [1] et d'olivine qui sont parfois tellement pressés les uns contre les autres que la roche, au premier abord, semble être holocristalline et grenue. Les basaltes compacts de Papénoo renferment parfois des enclaves de nodules à olivine du type commun.

L'examen microscopique met en évidence, non seulement de grandes variations de structure parmi ces basaltes (type doléritique à type semi-cristallin avec pâte extrêmement fine), mais encore des variations minéralogiques : ces dernières tiennent surtout aux proportions relatives des plagioclases et de l'augite, celle-ci devient parfois tellement prédominante que la roche peut être considérée comme une *limburgite*. Je n'ai observé qu'un seul échantillon de basalte renfermant des phénocristaux de plagioclases (bytownite).

Ces basaltes sont fréquemment très altérés et alors riches en minéraux secondaires parmi lesquels dominent les zéolites.

Les espèces les plus fréquentes sont l'*analcime* en gros cristaux (a^2) transparents, et la *mésolite*, dont les cristaux distincts n'offrent que les formes communes; ils sont de formation postérieure à l'analcime : leurs aiguilles, parfaitement transparentes, sont presque monoréfringentes à travers

---

(1) Ces cristaux sont aplatis suivant h^1 et ne présentent que les faces h^1, m, g^1, $b^{\frac{1}{2}}$: ils atteignent 1cm de diamètre. M. l'officier d'administration d'artillerie coloniale Courtet, qui a fait un long séjour à Tahiti, m'a signalé l'extrême abondance de cristaux, isolés, d'augite dans une couche de tuf basaltique de la pointe Tataa sur la côte nord-ouest de l'île.

leurs faces *m* et *t*, presque normales à un axe optique [1] (vallée de Punaruu).

La *thomsonite* se présente (vallée de Papénoo) soit en cristaux aplatis suivant h^1 (**100**) de la forme de la comptonite, soit en agrégats fibreux (mésole), associés aux deux zéolites précédentes.

Enfin, la christianite est abondante dans certains basaltes de la vallée de Papénoo. Les groupements les plus fréquents sont ceux qui conduisent à un pseudo-rhombododécaèdre régulier (macle de Stempel).

Dans un seul échantillon, l'analcime est recouverte de petits octaèdres à formes quadratiques, d'un blanc mat, qui paraissent constitués par de la *gismondine*.

Il est à signaler l'absence de la chabasie parmi les échantillons étudiés, alors que ce minéral abonde au contraire en magnifiques rhomboèdres dans les basaltes vacuolaires de l'île Mangaréva (archipel Gambier) que M. Seurat a récemment envoyés au Muséum.

Les basaltes doléritiques riches en olivine fournissent de beaux exemples de transformation progressive de ce minéral en bowlingite (iddingsite), dont les propriétés sont facilement étudiables.

Un échantillon de ce genre renferme en outre de nombreux petits nodules, ne dépassant guère 8^{mm} de diamètre, et constitués par un minéral d'un blanc vert pâle, compact, dont la cassure devient cireuse par le frottement. Ce minéral, dont la densité est de 2,28, ne fond que difficilement sur les bords au chalumeau; il est attaqué avec peine par les acides; il ne contient que de la silice, de la magnésie, du protoxyde de fer et de l'eau. Au microscope, il se montre formé par des rosettes fibrolamellaires, incolores dans la partie centrale des

---

(1) *Minéralogie de la France et de ses colonies*, t. II, p. 277.

nodules, vert pâle sur leurs bords. L'extinction des fibres est longitudinale; le signe de l'allongement est positif; la biréfringence un peu supérieure à celle du quartz. La petitesse des fibres ne permet aucun examen en lumière convergente. Ce minéral offre la plus grande analogie avec la *thalite* du lac Supérieur, dont M. N.-H. Winchell a fait il y a quelques années l'étude [1] dans mon laboratoire. La comparaison des lames minces qu'il m'en a laissées avec celles de la substance de la vallée de Papénoo montre que la biréfringence de cette dernière est un peu plus élevée, ce qui est dû certainement à une teneur plus grande en fer. Il y a lieu d'appeler l'attention des pétrographes sur cette substance qu'au microscope on pourrait confondre avec une chlorite peu ferrugineuse. L'absence d'alumine (ou la pauvreté en alumine du minéral du lac Supérieur) constitue un bon procédé de diagnostic différentiel.

Minéraux nouveaux.

Par M. Paul Gaubert.

Cryolithionite. — Ce minéral incolore, transparent sous une faible épaisseur, se trouve en cristaux atteignant 17^{cm} de diamètre, mais ayant en général de 5^{cm} à 12^{cm}, dans la cryolithe d'Ivigtut, Groenland. Il est cubique et présente seulement la forme b^1 (110), qui est aussi une face de clivage.

La cryolithionite est rigoureusement isotrope. Son indice de réfraction est très faible et voisin de celui de l'eau. On a, en

---

(1) *American Geologist*, t. XXIII, 1899, p. 41.

effet :

Li	1,3382
Na	1,3325
Tl	1,3408

Les cristaux renferment de nombreuses inclusions réparties sans aucun ordre et formées par une grande bulle de gaz entourée d'un peu de liquide qui semble être de l'eau.

La densité est de 2,727 et la dureté de 2,5 à 3.

La cryolithionite est soluble dans l'eau ($\frac{1}{1380}$ à 18°). La solution laisse déposer des cubes, alors que le minéral naturel ne présente que le *dodécaèdre rhomboïdal*.

L'analyse faite par M. Christiansen a donné les résultats suivants :

Al 14,56; Na 18,83; Li 5,35; Fl 60,79; perte au feu 0,36; total : 99,79,

correspondant à la formule $Li^3Na^3Al^2F^{12}$ qui peut être déduite de celle de la cryolithe Na^3AlF^6 par le remplacement de la moitié du sodium par du lithium. L'auteur rapproche ce minéral des grenats à cause des analogies existant dans les propriétés cristallographiques et dans les formules chimiques.

C'est le minéral le plus riche en lithine.

Chauffée dans le matras, la cryolithionite décrépite avec violence et fond en donnant un liquide incolore cristallisant par refroidissement. Au rouge vif, elle donne une fumée épaisse (N.-V. Ussing, *Overs. ov. d. Kgl. Dansk ved. Forhand.*, n° 1, 1904, p. 1).

Teallite. — Nouveau sulfostannate de plomb, ressemblant à du graphite laminaire, qui se trouve associé à du kaolin et à une matière grise, imprégnée de pyrite et sur laquelle se trouvent aussi de la galène et de la würtzite. Les

lames sont flexibles sans être élastiques. L'éclat est métallique et la couleur gris noir. Opaque. Raie noire. Densité 6,36. Dureté 1 à 2.

La teallite est probablement orthorhombique. Les formes observées sont $p(001)$, $e^1(011)$, $b^{\frac{1}{2}}(221)$, $h^1(100)$, $a^1(101)$, $a^{\frac{1}{2}}(201)(\bar{2}11)$

$$a : b : c = 0,93 : 1 : 1,31.$$

La composition chimique est la suivante (moyenne de deux analyses) :

Pb 52,98; Sn 30,39; Fe 0,20; S 16,29; total : 99,86.

La formule $PbSnS^2 = PbS, SnS$ représente ces résultats.

Ce minéral diffère donc de la franckéite et de la cylindrite par l'absence de l'antimoine.

La composition chimique probable de la franckéite correspond à la formule

$$Pb^5FeSn^3Sb^2S^{14} = 3PbSnS^2 + Pb^2FeSb^2S^8$$

et celle de la cylindrite à

$$Pb^3FeSn^4Sb^{12}S^{14} = 3PbSnS^2 + SnFeSb^2S^8.$$

Deux échantillons de ce minéral ont été trouvés dans une collection. Ils viennent de Bolivie, mais leur localité précise est inconnue. Ce minéral a été dédié à M. J.-J. Harris Teall, Directeur du Service géologique de la Grande-Bretagne et de l'Irlande (Prior, *Min. Magaz.*, vol. XIV, 1904, p. 21).

Astrolithe. — Se présente en globules de couleur jaune verdâtre ayant de 4mm à 6mm de diamètre et ressemblant à la wavellite. Chaque globule est formé par des fibres radiées. Il

existe un clivage. La poussière est grise. La densité est de 2,78 et la dureté de 3,5.

Les propriétés optiques montrent que le minéral est orthorhombique, mais aucune forme cristalline n'a été observée.

L'angle des axes 2 E est d'environ 48° autour d'une bissectrice négative.

L'analyse a donné les résultats suivants :

SiO^2 50,66; Al^2O^3 8,58; Fe^2O^3 13,43; FeO 12,08; K^2O 5,28; Na^2O 6,94; H^2O 3,03.

représentés par la formule

$$(Al^2F^2)Fe(NaK)^2(SiO^3)^5, H^2O.$$

L'astrolithe dérive par conséquent de l'acide H^2SiO^3.

Elle fond au chalumeau un peu plus difficilement que le grenat almandin.

Ce minéral se trouve à Neumark, Vogtland (Saxe) dans un tuf de diabase (REINISCH, *Centr. f. Min.*, 1904, p. 108).

TABLE PAR NOMS D'AUTEURS

DES TRAVAUX ORIGINAUX PUBLIÉS DANS LE TOME XXVII.

TABLE ALPHABÉTIQUE ET ANALYTIQUE

DES MATIÈRES CONTENUES DANS LE TOME XXVII.

ABRÉVIATIONS USITÉES DANS CETTE TABLE.

An.	Analyse.	*Min. nouv.*	Minéral nouveau.
Const.	Constitution.	*Opt.*	Étude optique.
Crist.	Cristallographie.	*Pol. rot.*	Polarisation rotatoire.
Group.	Groupement.	*Reprod.*	Reproduction.

Le Secrétaire gérant :
MAURICE BLONDEL.

34644 Paris. — Imp. Gauthier-Villars, 55, quai des Grands-Augustins.

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE.

PARIS. — IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS,
36297 Quai des Grands-Augustins, 55.

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DE

MINÉRALOGIE

(ANCIENNE SOCIÉTÉ MINÉRALOGIQUE DE FRANCE),

Fondée le 21 Mars 1878,

RECONNUE COMME ÉTABLISSEMENT D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET
DU 2 FÉVRIER 1886.

TOME VINGT-HUITIÈME.

PARIS,

LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE, CH. BÉRANGER, ÉDITEUR,

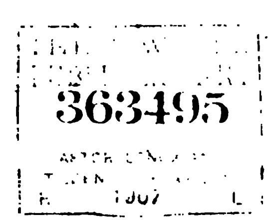
SUCCESSEUR DE BAUDRY ET C[ie],

15, rue des Saints-Pères, 15.

MAISON A LIÉGE, RUE DES DOMINICAINS, 7.

—

1905


363495

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DE

MINÉRALOGIE.

Année 1905.

Bureau de la Société

MM. FRED. WALLERANT, Président.
A. DE LAPPARENT, BUREAU, Vice-Présidents.
L. BOURGEOIS, Trésorier.
M. BLONDEL, Secrétaire pour la France.
JEAN HERBETTE, Secrétaire pour l'Étranger et Archiviste.

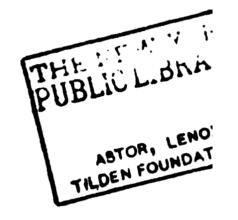
Membres du Conseil de la Société

MM. DUFET,
DE GRAMONT,
LACROIX,

MM. MICHEL,
RICHARD,
TERMIER.

ANCIENS PRÉSIDENTS.

1878..... DES CLOIZEAUX.
1879..... MALLARD.
1880..... DAMOUR (A.).
1881..... FRIEDEL (CH.).
1882..... DAUBRÉE.
1883..... FOUQUÉ.
1884..... CORNU.
1885..... DE LAPPARENT (A.).
1886..... BERTRAND (EM.).
1887..... JANNETTAZ (E.).
1888..... DUFET.
1889..... DES CLOIZEAUX.
1890..... CARNOT (AD.).
1891..... WYROUBOFF.
1892..... MALLARD.
1893..... BOURGEOIS (L.).
1894..... MICHEL-LÉVY.
1895..... LACROIX (A.).
1896..... HAUTEFEUILLE.
1897..... TERMIER.
1898..... LE CHATELIER (H.).
1899..... WALLERANT.
1900..... HAUTEFEUILLE.
1901..... BERTRAND (EM.).
1902..... WYROUBOFF.
1903..... MICHEL (L.)
1904..... DUFET.



LISTE DES MEMBRES
1905

Membres honoraires décédés.

MILLER (W.-H.).
ADAM.
KOBELL (Fr. von).
SMITH (Lawrence).
SELLA (Q.).
RATH (G. vom).
DOMEYKO (I.).
LEUCHTENBERG (S. A. I. le grand-duc Nic. de).
KOKSCHAROW (N. DE).
SCACCHI (A.).
SZABO (J.).
MARIGNAC (Ch. DE).
DANA (J.-D.).
DES CLOIZEAUX.
SCHRAUF (A.).
FRIEDEL (Ch.).
RAMMELSBERG (C.).
NORDENSKIŒLD (A.-E.).
DAMOUR (A.).
FOUQUÉ (F.).

Membres honoraires.

BRÖGGER (W.-C.), professeur à l'Université de Christiania.

GROTH (Dr Paul), professeur à l'Université, Mineralogische Sammlung Akademie, Munich (Bavière).

LANG (V. von), k. k. Hofrath, professeur à l'Université de Vienne.

MASKELYNE (N. S. Esqre), membre de la Chambre des Communes, Basset Down House, Swindon, Wilts (Angleterre).

ROSENBUSCH (Dr H.), professeur à l'Université de Heidelberg.

TOPSOE (Dr H.), professeur à l'École militaire de Copenhague.

TSCHERMAK (Dr G.), correspondant de l'Institut, professeur à l'Université de Vienne.

WYROUBOFF (Grégoire), professeur au Collège de France, 20, rue Lacépède, Paris, 5e.

ZIRKEL (Dr Fr.), professeur à l'Université de Leipzig.

Membres perpétuels.

BERTRAND (Émile), ingénieur, 35, boulevard des Invalides, Paris, 7ᵉ.

INSTITUT impérial des Mines de Saint-Pétersbourg.

MAUROY (DE), ingénieur, à Vassy (Haute-Marne).

SEIDEL Y AYMERICH (José), professeur à la Faculté des Sciences de la Havane (Cuba).

SPECULA VATICANA, à Rome.

SOCIÉTÉ impériale minéralogique de Saint-Pétersbourg.

Membres ordinaires [1].

m AMARAL (Fr. José de Santa Maria), mostero de S. Bento, à Rio-de-Janeiro.

AMIOT (H.), ingénieur en chef des Mines, attaché à la Direction des Chemins de fer de P.-L.-M., 4, rue Weber, Paris, 16ᵉ.

ARMACHEWSKI (P.), professeur à l'Université de Kiew (Russie).

ARSANDAUX (H.), préparateur au Collège de France, 6, rue Flatters, Paris, 5ᵉ.

ATANASESCO (N.), docteur ès sciences, professeur de Chimie à la Faculté de Médecine, 21, strada Stirbey Voda, Bucharest.

BÄCKSTRÖM (Dʳ H.), professeur à la Högskola, 30, Kungsgatan, Stockholm.

BARDET (Dʳ), 20, rue de Vaugirard, Paris, 6ᵉ.

BARET (Ch.), 23, rue Chateaubriand, Nantes.

m BARROIS (Charles), membre de l'Institut, professeur à la Faculté des Sciences, 41, rue Pascal, Lille, et 9, rue Chomel, Paris, 7ᵉ.

BARTH (J.-A.), éditeur des *Beiblätter zu den Annalen der Physik*, Rossplatz, 17, Leipzig.

---

[1] La lettre *m* indique les membres à vie.

BAUER (Dr Max), professeur à l'Université, Marburg (Hesse).

BEL (J.-M.), ancien élève de l'École Polytechnique, ingénieur civil des Mines, 4, place Denfert-Rochereau, Paris, 14e.

BENIER, ingénieur, Combs-la-Ville (Seine-et-Marne).

BENSAUDE (Dr Alf.), membre de l'Académie royale des Sciences, professeur à l'Institut industriel, 6, rue S. Gaetano, Lapa, Lisbonne.

BERGERON (Jules), professeur de Géologie et de Minéralogie à l'Ecole centrale, directeur adjoint du Laboratoire des recherches géologiques à la Faculté des Sciences, 157, boulevard Haussmann, Paris, 8e.

BERTRAND (Marcel), membre de l'Institut, ingénieur en chef des Mines, professeur à l'Ecole des Mines, 101, rue de Rennes, Paris, 6e.

BIBLIOTHÈQUE de l'Université de Clermont-Ferrand.

BIBLIOTHÈQUE de l'Université de Grenoble.

BIBLIOTHÈQUE de l'Université de Louvain (Belgique).

BIBLIOTHÈQUE de la K. Techn. Hochschule de Stuttgart.

BIZARD (R.), 72, rue Desjardins, Angers.

BLONDEL (Maurice), licencié ès sciences, 286, boulevard Raspail, Paris, 14e.

BOUBÉE (Madame E.), officier d'Académie, 3, boulevard et place Saint-André-des-Arts, Paris, 6e.

BOUCHARD (Dr), membre de l'Institut, 174, rue de Rivoli, Paris, 1er.

m BOUCHARDAT (Gust.), professeur à l'École de Pharmacie, 108, boulevard Saint-Germain, Paris, 6e.

BOURGEAT (l'abbé), docteur ès sciences, professeur à la Faculté libre des Sciences de Lille.

m BOURGEOIS (Léon), répétiteur à l'École Polytechnique, assistant au Muséum d'Histoire naturelle, 1, boulevard Henri-IV, Paris, 4e.

m BOWMAN (Herbert-L.), démonstrateur de Minéralogie à l'Université, 7, Manor Road, Oxford (Angleterre).

BRALY (A.), ingénieur des Mines, 30, rue George-Sand, Paris, 16^e.

BRAUNS (D^r), professeur de Minéralogie à l'Université, 8, Duppelstrasse, Kiel (Allemagne).

BRONGNIART (Marcel), licencié ès Sciences, 1, rue Villersexel, Paris, 7^e.

BÜCKING (D^r Hugo), professeur de Minéralogie à l'Université de Strasbourg.

m BUREAU (D^r Louis), professeur à l'École de Médecine, directeur du Musée d'Histoire naturelle, 15, rue Gresset, Nantes.

BUTTGENBACH (H.), ingénieur, 121, rue Gachard, Bruxelles (Belgique).

CABINET de Minéralogie de l'Université royale de Pavie.

CARNOT (Ad.), membre de l'Institut, inspecteur général des Mines, directeur de l'Ecole des Mines, Paris, 6^e.

CESARO (G.), professeur de Minéralogie à l'Université de Liége, Cheratte (Belgique).

CHABRIÉ (C.), sous-directeur du Laboratoire de Chimie appliquée et chargé de cours à la Faculté des Sciences, 83, rue Denfert-Rochereau, Paris, 14^e.

CHURCH (A.-H.), F. R. S., professeur de Chimie, Shelsley. Kew Gardens, Surrey (Angleterre).

COHEN (D^r E.), professeur à l'Université, 4, Rossmarkt, Greifswald (Allemagne).

COLANI (A.), 19, rue Vauquelin, Paris, 5^e.

COLORIANO (P. Ant.), docteur ès sciences, directeur de l'École normale d'instituteurs, 31, strada Berzei, Bucharest (Roumanie).

m COSTA-SENA (J. DA), ingénieur des Mines, Ouro-Preto, Minas Geraës (Brésil).

m CURIE (Pierre), professeur à la Faculté des Sciences de Paris, professeur à l'École de Physique et Chimie, 108, boulevard Kellermann, Paris, 13^e.

DELAGE (A.), professeur à la Faculté des Sciences de Montpellier.

DEMIDOFF LAPOUKHINE (Prince), 35, avenue Victor-Hugo, Paris, 16ᵉ.

DERWIS (Mˡˡᵉ Véra von), École de Chimie, Genève (Suisse).

DESHARNOUX (Paul), graveur, 69, rue Monge, Paris, 5ᵉ.

DOELTER (Dʳ Corn.), professeur de Minéralogie à l'Université de Gratz (Autriche).

DUFET (H.), maître de conférences de Minéralogie à l'École Normale supérieure, 35, rue de l'Arbalète, Paris, 5ᵉ.

DUPARC (Louis), professeur de Minéralogie à l'Université de Genève.

DURANDIÈRE (Arthur de la), 62, rue des Saints-Pères, Paris, 7ᵉ.

FLAMAND, chargé de cours à l'École des Sciences d'Alger, Alger-Mustapha.

FRIEDEL (Georges), ingénieur des Mines, professeur à l'École des Mines de Saint-Etienne, 97, cours Fauriel, Saint-Étienne (Loire).

GAUBERT (Paul), docteur ès sciences, assistant de Minéralogie au Muséum d'Histoire naturelle, 1, rue Mirbel, Paris, 5ᵉ.

GENTIL (Louis), chargé de conférences de Pétrographie à la Faculté des Sciences, 65, boulevard Pasteur, Paris, 15ᵉ.

GLANGEAUD (Ph.), professeur adjoint de Minéralogie à la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand.

GLINKA (Serge), privat docent, cabinet de Minéralogie, Université impériale de Saint-Pétersbourg.

GOGUEL (H.), docteur ès sciences, maître de conférences de Minéralogie à la Faculté des Sciences, 52, cours d'Alsace-Lorraine, Bordeaux.

m GOLDSCHMIDT (Dʳ V.), professeur de Minéralogie et de Cristallographie à l'Université, 9, Gassbergstrasse, Heidelberg (Allemagne).

GONNARD (F.), ingénieur des hospices civils de Lyon, 38, quai de Vaise, Lyon.

GORCEIX (Henri), ex-directeur de l'Ecole des Mines d'Ouro-Preto (Brésil), à Mont-sur-Vienne, par Bujaleuf (Haute-Vienne).

m GRAMONT (Arnaud DE), docteur ès sciences, 81, rue de Lille, Paris, 7e.

GRANGER (A.), professeur à l'Ecole d'application de la Manufacture de Sèvres, 88, avenue des Ternes, Paris, 17e.

GRATTAROLA, directeur du Musée et Laboratoire de Minéralogie de l'Institut royal des Études supérieures, 2, piazza San Marco, à Florence.

GROULT-DEYROLLE (P.), naturaliste, 46, rue du Bac, Paris, 7e.

GUYOT DE GRANDMAISON (E.), 23, rue Clairat, Bergerac (Dordogne).

HERBETTE (Jean), licencié ès Sciences, 17, rue Fortuny, Paris, 17e.

HINTZE (Dr C.), professeur de Minéralogie à l'Université, 5, Moltkestrasse, Breslau (Allemagne).

HUSSAK (E.), Commission géologique de São Paulo (Brésil).

INSTITUT minéralogique de l'Université de Czernowitz (Autriche).

JANNETTAZ (Paul), ingénieur des Arts et Manufactures, répétiteur à l'École centrale, 68, rue Claude-Bernard, Paris, 5e.

JECKER (L.), préparateur à l'Ecole de Physique et de Chimie, rue Lhomond, Paris, 5e.

JOFFRE (J.), chimiste, 2, route de Saint-Leu, Montmorency (Seine-et-Oise).

JORISSEN, Prétoria-Club, Prétoria (Transvaal).

JUNGFLEISCH (E.), membre de l'Académie de Médecine, professeur à l'École de Pharmacie et au Conservatoire des Arts et Métiers, 74, rue du Cherche-Midi, Paris, 6e.

KAMPMANN (Alfred), Épinal.

KLEIN (Dr Carl), correspondant de l'Institut, professeur à l'Université de Berlin, Geh. Bergrath, Joachimsthaler Str., 39-40, Charlottenburg b. Berlin.

KLOBB (T.), professeur à l'École supérieure de Pharmacie, 44, rue de Metz, Nancy.

KRENNER (Dr J.), professeur de Minéralogie au National Museum, Buda-Pest.

KUNZ (Georges-F.), chez MM. Tiffany et Cie, Union Square, New-York City.

LACOUR (Alf.), ingénieur civil des Mines, 60, rue Ampère, Paris, 17e.

m LACROIX (A.), membre de l'Institut, professeur de Minéralogie au Muséum d'Histoire naturelle, 8, quai Henri-IV, Paris, 4e.

LAPPARENT (Alb. DE), membre de l'Institut, professeur de Géologie et Minéralogie à l'Institut catholique, 3, rue de Tilsitt, Paris, 8e.

LAPPARENT (Jacques DE), 3, rue de Tilsitt, Paris, 8e.

LASSALLE (Th.), route de Clermont, Montluçon (Allier).

LE CHATELIER (H.), ingénieur en chef des Mines, professeur à l'École des Mines et au Collège de France, 73, rue Notre-Dame-des-Champs, Paris, 6e.

LETEUR (F.), préparateur à la Faculté des Sciences, 83, Grande Rue, Bourg-la-Reine (Seine).

LEWIS (W.-J.), professeur, New Museums, Cambridge (Angleterre).

LIEBISCH (Dr Th.), professeur de Minéralogie à l'Université, Göttingen (Prusse).

LINDSTRŒM (G.), adjoint au Riks-Museum, Stockholm (Suède).

m LIVERSIDGE, professeur à l'Université de Sydney, Nouvelle-Galles du Sud (Australie).

LOUGUININE, professeur à la Faculté des Sciences de Moscou, 77, avenue de Malakoff, Paris, 16e.

LOVISATO (Domenico), professeur à l'Université, 19, viale Regina Margherita Cagliari (Sardaigne).

LUEDECKE (Dr Otto), professeur à l'Université, 8, Blumenthalstrasse, Halle s. Saale, Thuringe.

MATTIROLO (Ettore), ingénieur des Mines, directeur du Laboratoire chimique de l'Office royal géologique des Mines, Rome.

m MICHEL (Léopold), professeur adjoint de Minéralogie à la Faculté des Sciences de Paris, 54, boulevard Maillot, Neuilly (Seine).

m MICHEL-LÉVY (A.), membre de l'Institut, Inspecteur général des Mines, professeur au Collège de France, 26, rue Spontini, Paris, 16e.

MIEG (Mathieu), 48, avenue de Modenheim, Mulhouse.

m MIERS (Henry-A.), professeur au Magdalen College, Oxford.

m MIRABAUD (Paul), banquier, 8, rue de Provence, Paris, 9e.

MOISSAN (H.), membre de l'Institut, professeur à la Faculté des Sciences, 7, rue Vauquelin, Paris, 5e.

MOSES (Dr Alf. J.), professeur de Minéralogie à l'École des Mines, Columbia University, New-York.

MUSEUM d'Histoire naturelle de Hambourg (Allemagne).

NENTIEN (E.), ingénieur en chef des Mines, Chalon-sur-Saône.

NICOLAU (Dr Th.), professeur au Lycée, Strada Sf. Athanasie no 1, Jassy (Roumanie).

ŒBBEKE (Dr K.), professeur de Minéralogie à la Technische Hochschule, Munich (Bavière).

OFFRET (Albert), professeur de Minéralogie à la Faculté des Sciences de Lyon, villa Sans-Souci, 53, chemin des Pins, Lyon.

O'GORMAN (comte Gaëtan), 21, avenue de Barèges, Pau (Basses-Pyrénées).

OUROCHEWITS (Sawa), professeur à l'École supérieure des Sciences de Belgrade (Serbie).

PACHECO DO CANTO E CASTRO (Eug. Vaz), professeur au Lycée de Ponta Delgada, île de São-Miguel (Açores).

PAVOT, intendant militaire, 36 *bis*, rue Ballu, Paris, 9ᵉ.

PISANI (F.), chimiste, 8, rue de Furstenberg, Paris, 6ᵉ.

m POTIER (Alf.), membre de l'Institut, inspecteur général des Mines, professeur honoraire à l'École Polytechnique, 89, boulevard Saint-Michel, Paris, 5ᵉ.

PURPER (L.), propriétaire, avenue du Rond-Point, à Évry-Petit-Bourg (Seine-et-Oise).

m RICHARD (Ad.), préparateur à l'École des Mines, 73, rue du Cardinal-Lemoine, Paris, 5ᵉ.

ROMEU (DE), ingénieur des Arts et Manufactures, 38, boulevard de Courcelles, Paris, 17ᵉ.

ROUX (Léon), professeur de Chimie à la Faculté des Sciences de Poitiers.

SANDBERG (C.), licencié ès sciences, 16, rue Stanislas, Paris, 6ᵉ.

m SAUVAGE (Ed.), ingénieur des Mines, 14, rue Eugène-Flachat (place Pereire), Paris, 17ᵉ.

m SAXE-COBOURG-GOTHA (S. A. I. le Prince dom Pedro DE).

SCACCHI (E.), professeur de Minéralogie à l'Université de Naples.

SCHULTEN (Dʳ Aug. DE), Brignoles (Var).

SEHERR THOSS (le baron M. DE), Hohenzollernstrasse, 16, Berlin.

SELIGMANN (G.), 18, Schlossrondel, Coblentz.

SELWYN, ancien Directeur du Service géologique du Canada, Museum and Office, Sussex street, Ottawa.

STÖBER (Dʳ H.), chargé de cours à l'Université, 45, boulevard Léopold, Gand.

STRUEVER (G.), professeur de Minéralogie à l'Université de Rome.

STUER (Al.), 4, rue de Castellane, Paris, 8ᵉ.

SUTTON (William J.), géologue, 89, Discovery Street, Victoria (Colombie Britannique).

TERMIER (Pierre), ingénieur en chef des Mines, professeur de Minéralogie à l'École des Mines, 164, rue de Vaugirard, Paris, 15[e].

USSING (D[r] N.-V.), professeur à l'Université de Copenhague.

VATIN, ingénieur civil des Mines, 52, rue Saint-Georges, Paris, 9[e].

WALLERANT (Fred.), professeur de Minéralogie à la Faculté des Sciences de Paris, 5[e].

WICHMANN (D[r] A.), professeur à l'Université d'Utrecht (Pays-Bas).

WINCHELL (N.-H.), géologue de l'État du Minnesota, Minneapolis (États-Unis).

WÜLFING (D[r] E.-A.), professeur de Minéralogie, Baumbach Allée, 11, Langfuhr, par Dantzig (Allemagne).

ZUJOVIC (J.-M.), professeur de Géologie à l'École supérieure de Belgrade (Serbie).

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE.

ANNÉE 1905. — BULLETIN N° 1.

Compte rendu de la Séance du 12 janvier 1905.

PRÉSIDENCE DE M. DUFET.

M. LE PRÉSIDENT donne la parole à M. le Trésorier pour la lecture de son Rapport.

Rapport du Trésorier.

MESSIEURS ET CHERS COLLÈGUES,

J'ai l'honneur de vous présenter les comptes de l'année 1904, arrêtés au 31 décembre dernier.

COMPTES DE L'EXERCICE 1904.

Recettes.

	fr
En caisse au 1er janvier 1904	11644,71
Cotisations arriérées	980
— de l'année	1461,15
— anticipées	120
Allocation ministérielle	600
Abonnements et vente du *Bulletin*	1149,95
Rentes sur l'État français 3 %	297
Intérêts du compte de chèques à la Société Générale	37,55
Intérêts des sommes déposées à la Caisse nationale d'Épargne, à 2,50 %	40,97
Total	16331,33

Dépenses.

	fr
Bulletin, impression et port	5002,33
— gravure	405,60
— rédaction et extraits	200
Administration, allocation au garçon de salle	200
— frais de bureau	17,60
Bibliothèque, abonnements	219
— reliures et frais divers	42
— assurance contre l'incendie	34,80
Frais exceptionnels, souscription Groth	200
Société Générale, droit de garde, timbres, etc.	2,30
Solde en caisse au 1er janvier 1905	10007,70
Total	16331,33

Évalué au cours du 31 décembre dernier, notre fonds de réserve se compose de :

297fr rente française 3 °/° perpétuel à 97fr,70......	9672fr,30

ce qui, joint à l'encaisse à la même date, constitue un actif immédiatement réalisable de 19680fr.

En terminant, je vous proposerai le budget prévisionnel suivant :

PROJET DE BUDGET POUR L'ANNÉE 1905.

Recettes.

Reprise sur l'encaisse précédente...............	2953fr
Cotisations..	1600
Allocation ministérielle........................	600
Intérêts du fonds de réserve..................	297
Abonnements et vente du *Bulletin*...............	1200
Total............	6650

Dépenses.

Bulletin, impression et port......................	5000fr
— gravure..............................	500
— rédaction et extraits...................	500
Administration, allocation au garçon de salle.....	200
— frais divers....................	200
Bibliothèque, assurances......................	250
Total............	6650

Le Trésorier,

L. BOURGEOIS.

M. Pavot donne lecture du Rapport suivant :

Les membres de la Commission de Comptabilité ont examiné les comptes de 1904 et ont constaté leur parfaite régularité. Ils proposent d'adresser tous les remercîments des Membres de la Société à M. le Trésorier.

Arsandaux, Pavot, de Romeu.

Les remercîments sont votés à l'unanimité.

Il est procédé aux élections pour le renouvellement du Bureau de la Société.

Le dépouillement du scrutin donne les résultats suivants :

Présidence : M. F. Wallerant obtient 34 voix; M. de Gramont, 8 voix.

En conséquence, M. F. Wallerant est proclamé président.

Vice-présidence : M. A. de Lapparent obtient 29 voix, M. Bureau 23, M. A. Lacroix 1, M. P. Curie 1.

MM. A. de Lapparent et Bureau sont proclamés vice-présidents.

M. Blondel est réélu secrétaire pour la France.

M. Jean Herbette est élu secrétaire pour l'étranger et archiviste.

MM. Dufet, de Gramont, Richard et Termier sont nommés membres du Conseil pour 2 ans.

On procède ensuite à la nomination d'un membre honoraire.

M. Wyrouboff est élu par acclamation.

En conséquence, le Bureau de la Société est constitué pour 1905 de la façon suivante :

Président : M. Fréd. Wallerant;
Vice-présidents : MM. A. de Lapparent et Bureau;
Trésorier : M. Bourgeois;
Secrétaires : MM. Blondel et Herbette;
Archiviste : M. Herbette;
Membres du Conseil : MM. Dufet, de Gramont, A. Lacroix, Michel, Richard et Termier.

M. H. Dufet, avant de céder le fauteuil de la présidence à M. F. Wallerant, adresse ses remercîments à la Société. M. Wallerant remercie la Société de l'honneur qu'elle lui a fait en l'appelant à présider ses séances.

M. le Président proclame membres de la Société :

M. F. Leteur, préparateur à la Faculté des sciences de Paris;
M. Jecker, préparateur à l'École de Physique et de Chimie, rue Lhomond.

M. le Président annonce une présentation.

M. Miers, professeur à l'Université d'Oxford, assiste à la séance.

M. Termier présente une Note de M. G. Friedel : « Sur la loi de Bravais et la loi des macles dans Haüy ».

M. de Romeu présente à la Société des échantillons d'une *syénite à corindon,* contenant de très gros cristaux de ce dernier minéral.

Cette roche provient de Craigmont, dans le comté de Renfrew (Ontario), où elle se trouve en filons importants ou en petits massifs dans les gneiss; elle est activement exploi-

tée et, après séparation mécanique, le corindon est livré à l'industrie comme matière usante.

Ces syénites forment parfois des pegmatites à très gros éléments où le corindon, en cristaux plus ou moins allongés parallèlement à l'axe ternaire, peut atteindre, perpendiculairement à cet axe, 15^{cm} de plus grande dimension. Au corindon sont associés du microcline et un plagioclase acide, accompagnés de petites quantités de muscovite et de magnétite.

Sur la loi de Bravais et la loi des macles dans Haüy;

Par M. G. Friedel.

Dans un travail récent [1] j'ai montré que la détermination des réseaux cristallins, qui ne sont que l'expression de la loi des indices rationnels, ne peut être basée sur autre chose que sur cette loi, et particulièrement sur la forme précise que lui a donnée Bravais. La loi de Bravais peut s'exprimer ainsi : Il existe, pour chaque espèce cristalline, un réseau de parallélépipèdes tel que ses plans réticulaires sont d'autant plus importants comme faces limites de la forme extérieure ou comme clivages que leur densité réticulaire est plus grande.

D'autre part, j'ai indiqué une loi générale applicable à tous les groupements cristallins. Elle consiste essentiellement en ceci qu'il existe toujours un réseau multiple du réseau cristallin qui se prolonge (soit exactement, soit à peu près)

---

(1) *Étude sur les groupements cristallins* (*Bulletin de la Société de l'Industrie minérale*, 4e série, t. III et IV; *C. R. Acad. Sc.*, 1904).

de l'un des individus cristallins à l'autre. En d'autres termes, il existe un réseau (continu ou quasi-continu) commun aux deux cristaux et tel que toutes les faces de l'un et l'autre en soient des plans réticulaires à indices simples. Ou encore : supposons que les mesures d'angles soient assez grossières pour que la différence entre les macles par mériédrie et par pseudo-mériédrie reste inaperçue. Si alors on se contente d'exprimer la loi des indices rationnels simples à la manière ordinaire, on peut, pour un cristal maclé, choisir un réseau unique tel que toutes les faces des deux individus groupés répondent ensemble à cette loi. En sorte que, les mesures d'angles étant supposées grossières, comme l'étaient, par exemple, celles d'Haüy, une macle peut être, au point de vue de l'orientation des faces, considérée aussi bien comme un cristal unique répondant à la loi des indices rationnels que comme un assemblage de plusieurs de ces cristaux.

Sur le premier point, je n'ai fait que reprendre la loi indiquée, à titre de spéculation théorique, par Bravais et Mallard, en lui donnant, je crois, sa vraie signification comme fait d'observation fondamental, indépendant de toute théorie et devant remplacer à la base de la cristallographie la loi plus vague, mais identique au fond, de la simplicité des indices. Sur le second point, je croyais innover. Depuis lors, en relisant Haüy avec plus de soin, je me suis aperçu que les deux lois d'observation que je viens de rappeler ont été connues du fondateur de la Cristallographie et exprimées par lui avec la plus grande netteté. La première lui a même servi à la détermination ou à la confirmation de certaines formes primitives, et c'est en partie à la seconde que l'amphibole doit son nom. Assurément Haüy n'exprime nulle part ces deux lois dans une formule générale. Mais il ne le fait pas davantage pour la loi des indices rationnels. Et les passages que je vais rappeler, peu connus ou peu remarqués, si je ne

m'abuse, suffiront sans doute à montrer combien sa merveilleuse intuition avait laissé peu de chose à faire à ses successeurs pour mettre ces lois en pleine lumière et en saisir l'importance.

1. — Loi de Bravais.

« ... Les faces qui répondent aux joints (aux clivages) diffèrent les unes des autres en grandeur (dans la molécule soustractive; c'est-à-dire en grandeur de leurs aires réticulaires). Mais il y a mieux : c'est que souvent les faces que la théorie prouve devoir être les plus étendues sont précisément celles qui correspondent aux joints les plus difficiles à saisir (aux clivages les plus difficiles et les moins nets).... Je citerai pour exemple la chaux sulfatée, où la molécule (molécule soustractive, maille), déterminée d'après les lois de décroissement les plus simples, est un prisme droit quadangulaire ayant pour base un parallélogramme obliquangle, dont le plus grand côté est à la hauteur du prisme dans le rapport de 13 à 32 [1]. On observe en même temps que les joints latéraux sont ternes et cèdent difficilement à la division mécanique, tandis que du côté des bases les lames ont une surface éclatante et se séparent avec une grande facilité. Au reste, je ne voudrais pas affirmer que ce résultat fût général.... [2] »

---

(1) Les paramètres donnés par Haüy sont 12:32:13, $\mu=66°53'$. Ce sont, comme je l'ai fait voir (*l. c.*, p. 399), les paramètres corrects conformes à la loi de Bravais 0,372:1:0,412, $\mu=66°10'$. Il suffit de centrer h^1 pour avoir le véritable réseau. Il en est de même pour un grand nombre des formes primitives déterminées par Haüy, que l'on a eu souvent grand tort de changer sans raisons sérieuses.

(2) *Minéralogie* (1801), t. II, p. 14. *Voir* aussi *Cristallographie*, t. I, p. 222, où l'affirmation est encore plus nette.

Au sujet de la barytine :

« En partant des lois de décroissement les plus simples, on trouve, par la théorie, que les pans (faces latérales *m*) de la molécule soustractive sont presque des carrés. Or la surface du carré est plus grande que celle du rhombe de même contour. Le rapport entre l'un et l'autre, dans le cas présent, est à peu près celui de 23 à 22, ce qui peut servir à expliquer pourquoi les coupes parallèles aux bases des molécules (mailles) sont plus nettes et plus faciles à saisir que celles qui ont lieu dans le sens latéral ([1]). »

Plus loin, au sujet de la célestine :

« Les coupes parallèles aux pans (faces *m*) sont moins nettes que celles qui se font dans le sens des bases, et la difrence même est sensiblement plus grande que dans la baryte sulfatée. *Aussi* le rapport donné par le calcul entre la surface des bases de la molécule soustractive et celle des pans, qui est celui de 18 à 19, dans la première de ces substances, surpasse-t-il le rapport 22 à 23, qui a lieu dans la seconde ([2]).

» Dans les corps dont les faces diffèrent par leurs dimensions (il s'agit toujours des faces de la molécule soustractive), on peut dire en général que celles dont l'éclat est plus vif sont les plus petites, d'où il suit que les joints naturels qui leur correspondent sont ceux qui se prêtent le plus facilement à la division mécanique.... » Je passe le raisonnement. « C'est ce qui a lieu dans le prisme de la stilbite, dont les faces *m*, *t*, *p*, que je range ici dans l'ordre suivant lequel leur éclat va diminuant, sont entre elles à peu près comme les nombres 6, 10, 15, qui vont au contraire en croissant. »

Suit la restriction, nécessaire aussi bien aujourd'hui, que

([1]) *Minéralogie*, t. II, p. 306. Ici encore les paramètres d'Haüy sont les paramètres corrects.

([2]) *Minéralogie*, t. II, p. 326.

les conditions de densité réticulaire ne peuvent évidemment être seules en jeu et que l' « assortiment des molécules élémentaires (molécules chimiques) » peut parfois inverser la loi. « Mais cette sorte d'inversion doit avoir lieu rarement (¹). »

Haüy donne évidemment ici une importance exagérée au seul éclat des faces et le rapproche, par un raisonnement médiocre, de la facilité des clivages qui leur sont parallèles. Mais enfin il a clairement l'idée d'une relation directe entre la densité réticulaire et l'importance des faces ou la facilité et la netteté des clivages. Bien plus, il montre que cette relation ne peut être absolue, et que tout ce que l'on peut constater c'est la prépondérance de la condition tirée des densités réticulaires, condition qui n'est pas seule en jeu. Au détail des termes près, on ne peut en dire davantage aujourd'hui.

Sur la forme primitive de l'orthose :

« Ces dimensions, qui sont celles de la molécule intégrante, s'accordent avec une observation que j'ai citée ailleurs et qui consiste en ce qu'en général les joints naturels les plus éclatants et les plus faciles à obtenir répondent aux facettes de la molécule qui ont le moins d'étendue, et réciproquement. Dans les cristaux de feldspath, ceux qui sont parallèles aux faces p, m (p, g^1 actuelles) ont le même degré d'éclat et de netteté, ce qui est d'autant plus remarquable que les faces qui leur correspondent ne sont pas semblables, en même temps qu'elles sont égales en étendue.... A l'égard des joints parallèles aux faces t (m), qui sont doubles des premières, on conçoit comment ils résistent beaucoup plus que les autres à la division mécanique et ont moins d'éclat (²). » Haüy confirme par là, comme pour le gypse, la barytine et la cé-

---

(¹) *Cristallographie*, t. I, p. 221.
(²) *Cristallographie*, t. II, p. 361.

lestine, la forme primitive trouvée en cherchant uniquement à simplifier les décroissements.

2. — Loi des groupements.

Au sujet des macles de la staurotide :

« Dans l'examen que nous allons faire des deux variétés de staurotide, nous nous attacherons principalement à prouver : 1° que chacun des hexagones de jonction est situé, par rapport à l'un ou l'autre des prismes, comme le serait une face produite par une loi de décroissement (c'est-à-dire que les plans d'accolement sont des plans réticulaires); 2° *que si l'on suppose les pans de chaque prisme prolongés dans l'intérieur de l'autre prisme, les prolongements auront de même des positions que l'on pourra rapporter à des lois de décroissement* (¹). En d'autres termes, les plans réticulaires de l'un sont (à peu près) des plans réticulaires de l'autre. Il y a un réseau commun aux deux cristaux maclés, et qui est un multiple du réseau de chacun, puisqu'il a les mêmes plans réticulaires. »

Sur la macle h^1 de l'amphibole :

Dans le *Traité de Minéralogie* de 1801, Haüy discute la question de savoir si l'amphibole *équidifférent* est un cristal simple ou, comme le pensait Romé de l'Isle, une macle. Il remarque qu'un des cristaux étant donné, les faces de l'autre en sont (à peu près) des décroissements rationnels. Et bien qu'il penche pour la macle, il conclut : « Quoi qu'il en soit, on a vu que la théorie satisfaisait dans tous les cas à l'hypothèse où la cristallisation produirait chaque forme comme d'un seul jet (où le cristal serait unique). Il en résulte une espèce d'ambiguïté qui semble ajouter un nouveau fondement à la dénomination d'*amphibole* (²). »

(¹) *Minéralogie*, t. II, p. 88.
(²) *Minéralogie*, t. III, p. 72.

Dans le *Traité de Cristallographie* (1822), l'affirmation de la macle est nette. Mais Haüy ajoute, au sujet de l'amphibole dodécaèdre $\left(mg^1pb^{\frac{1}{2}}\right)$:

« Le signe de chaque sommet du dodécaèdre simple est $pb^{\frac{1}{2}}$. Et si on lui substituait le signe $b^{\frac{1}{2}}e^1$ pour le sommet supérieur et le signe pa^1 pour l'inférieur, la forme se changerait en celle de la variété hémitrope. La théorie, abandonnée à elle-même (c'est-à-dire la seule loi des décroissements rationnels) se prête à cette transformation. Les faces indiquées par e^1 et a^1 existent, en effet, ... sur la variété imitative (¹). » Et plus loin, au sujet de l'amphibole *triunitaire :* « Ici revient l'observation que j'ai faite par rapport à l'amphibole dodécaèdre hémitrope, sur la possibilité d'une forme semblable à celle qui nous occupe, produite par des décroissements directs (sur une forme primitive unique), si la loi de symétrie ne s'y opposait. L'existence de l'hémitropie est confirmée par le mécanisme de la structure (par les clivages) et la présence d'un sillon... »

Ainsi, si deux cristaux d'amphibole sont maclés suivant h^1, les faces $b^{\frac{1}{2}}$ de l'un prolongent (à peu près) les faces e^1 de l'autre, et les faces p de l'un les faces a^1 de l'autre. C'est, exprimée aussi nettement qu'il est possible, la loi du réseau multiple se prolongeant d'un cristal à l'autre.

(¹) *Cristallographie*, t. II, p. 280.

Sur un gisement de redondite à la Martinique;

Par M. A. Lacroix.

Un assez grand nombre de petites îles du Pacifique (¹) et des Antilles (²) renferment des dépôts de guano ayant subi des modifications profondes (³) sous l'influence des pluies tropicales et de l'eau de la mer, ces deux causes pouvant agir concurremment.

Les sels solubles du guano ont été ainsi en totalité ou en partie entraînés du point où ils avaient été déposés, ils ont parfois complètement disparu, mais, souvent aussi, ils ont été fixés par le sol même de l'île : comme celui-ci est, dans le cas le plus général, d'origine corallienne, il s'est ainsi produit du phosphate tricalcique, constituant des masses plus ou moins compactes. On connaît depuis longtemps au moins deux gisements : ceux de l'île de Redonda (*redondite* de Shepard) dans les Petites Antilles et de l'îlot du Connétable sur la côte de la Guyane, dont les dépôts phosphatés sont constitués, non par le phosphate auquel il vient d'être fait allusion, mais par un phosphate d'alumine plus ou moins ferrugineux.

En 1898, M. J.-J.-H. Teall a appelé l'attention (⁴) sur un phosphate du même genre provenant de l'Atoll Clipperton dans le Pacifique du Nord; il a pu démontrer que ce minéral résulte de la transformation progressive d'un trachyte, trans-

---

(¹) Notamment, entre le 180° et le 150° de longitude ouest, le 10° nord et 10° sud de latitude, Baker, Howland, Jawis, Malden, etc.

(²) Sombrero, Navassa, Turk, Saint-Martin, Aruba, Curaçao, Orchillas, Arenas, etc.; les îles Aves, etc.

(³) Ce sont les *leached guanos* des auteurs américains (Penrose, *Bull. U. S. geol. Survey*, n° 46, 1888, p. 122).

(⁴) *Quarterly J. of the geol. Soc.. London*, t. LIV, 1898, p. 240.

formation effectuée selon toute vraisemblance par le mécanisme étudié par M. Armand Gautier ([1]) dans la production de la *minervite* de la grotte de Minerve, c'est-à-dire par l'action du phosphate d'ammoniaque sur des silicates alumineux.

Au cours de ma Mission à la Martinique, j'ai découvert un gisement du même genre. L'îlot de la Perle se trouve sur la côte nord-ouest de l'île, à quelque distance au nord du bourg du Prêcheur, abandonné à la suite de l'éruption de la Montagne Pelée. Comme la côte voisine, cet îlot, rocher battu par les lames et dépourvu de toute terre végétale, est constitué par un conglomérat andésitique, sa surface est recouverte d'un revêtement d'un minéral brun compact, à structure zonée, dont je n'ai pas étudié suffisamment sur place l'épaisseur et par suite l'importance économique éventuelle, sa véritable nature ne m'étant apparue qu'à mon retour en France. En certains points, l'épaisseur de cette croûte phosphatée atteint un minimum de 7^{cm} ou 8^{cm}.

Son examen microscopique montre sa structure concrétionnée : elle est cryptocristalline, mais, par place, sur le bord de cavités apparaissent des croûtes fibreuses à aspect calcédonieux possédant un signe d'allongement négatif et une biréfringence un peu supérieure à celle du quartz. L'andésite recouverte par ce phosphate d'alumine est entièrement décomposée; on reconnaît encore sa structure originelle et la forme de ses phénocristaux de plagioclase et d'hypersthène, transformés en opale limpide : toute la magnétite a disparu. Le phosphate se développe dans la pâte et se concrétionne surtout autour des anciens phénocristaux : c'est dans les échantillons de ce genre qu'il est possible de trouver les fibres les mieux individualisées.

([1]) *Comptes rendus*, t. CXVI, 1893, p. 1891.

Il est fort vraisemblable que le même produit doit se retrouver à l'îlot du Diamant, situé au sud de la Martinique, à l'îlot du Pain-de-Sucre, sur sa côte nord-est et sur d'autres rochers de cette même côte, qui servent de refuge à d'innombrables oiseaux de mer.

C'est également à la même origine qu'il faut attribuer les dépôts du phosphate activement exploité à l'îlot du Connétable, mais, dans ce gisement, les roches attaquées sont des gneiss (gneiss normal, gneiss amphibolique) et des diabases.

Les analyses suivantes représentent la composition chimique d'échantillons provenant des diverses localités :

a. Ilot de la Perle, par M. Arsandaux.

b. Ilot Redonda, par Shepard (*Amer. Journ. of Sc.*, t. XLVII, 1869, p. 428).

c. Ilot Clipperton, par M. Teall (*op. cit.*).

d. Ilot du Connétable, par M. Carnot (*Ann. Mines*, 1896).

	a.	*b.*	*c.*	*d.*
P^2O^5.....	41,20	43,20	38,50	34,88
Al^2O^3....	34,20	16,60	25,90	28,60
Fe^2O^3....	»	14,40	7,40	9,06
CaO.....	tr.	0,57	»	0,80
MgO.....	tr.	»	»	9,15
H^2O.....	24,50	24,00	23,00	24,00
Argile....	»	1,60 (SiO^2)	»	2,00
	99,90	100,37	99,80	99,43

On voit que la composition chimique de ces divers phosphates n'est pas constante, mais qu'elle présente des variations relativement peu étendues, si l'on tient compte de ce qu'une partie des produits analysés étaient amorphes et que dans tous les cas on n'a pas cherché à les purifier par voie mécanique.

L'examen microscopique d'une série d'échantillons prove-

nant de l'îlot du Connétable, récemment envoyés au Muséum par M. Geay, m'a permis de constater que dans ce gisement le phosphate d'alumine est parfois concrétionné et microcristallin comme à la Perle et qu'il possède les mêmes propriétés optiques. Il est donc essentiellement constitué par une espèce bien définie, dont je poursuis actuellement l'étude sur des matériaux qui se prêteront sans doute à une purification rigoureuse.

A un point de vue plus général, il est intéressant de constater la puissance de l'action chimique des phosphates solubles du guano sur les silicates cristallisés, tels que les feldspaths, les pyroxènes, aussi bien que sur le verre des roches volcaniques. On voit que le même phosphate d'alumine se forme par la décomposition de roches silicatées les plus diverses (trachytes, andésites, diabases, gneiss variés); quelle que soit leur composition minéralogique, tous les éléments chimiques qui les constituent en sont éliminés, à l'exception de l'alumine et du fer, qui se combinent à l'acide phosphorique. Cette convergence du résultat de l'altération de roches différentes par l'action d'un sel soluble d'origine physiologique rappelle celle qu'on observe dans les pays tropiques où les résultats de la décomposition latéritique conduit à des hydrates d'alumine et de fer, quelle que soit la roche servant de point de départ. On peut aussi, à cet égard, rappeler le résultat de l'attaque des roches silicatées les plus variées sous l'influence des fumerolles sulfhydriques des régions volcaniques : celles-ci, en effet, les transforment toutes, quelle que soit leur composition initiale (trachytes ou péridotites, par exemple), en un produit ultime unique, l'opale (donnant parfois naissance à du quartz par déshydratation). Mais, dans ces deux cas, le dernier terme de la décomposition ne fixe pas d'éléments chimiques étrangers.

Sur le microcline du Vizézy;

Par F. Gonnard.

J'ai signalé dans les *Comptes rendus* de l'Institut (27 octobre et 17 novembre 1884) l'existence d'un filon de pegmatite à grands cristaux de microcline sur les bords du Vizézy, à 10 kilomètres de Montbrison, le long de la route de cette ville à Saint-Bonnet-le-Courreau. Cette pegmatite, sur laquelle j'avais cru devoir attirer l'attention des minéralogistes au sujet des grands cristaux de cordiérite (variété chlorophyllite) et des petits prismes d'apatite verte qu'elle renferme, n'est pas moins remarquable par les beaux cristaux de quartz enfumé qui s'y trouvent associés au microcline, et dont le musée d'Allard, à Montbrison, possède quelques spécimens, qu'on croirait provenir des gisements célèbres du Valais.

Ce filon a apparu lorsqu'on a coupé le rocher granitique pour l'établissement de la route de Saint-Bonnet, et a dû donner de magnifiques échantillons de ces diverses espèces minérales, à en juger par les gros blocs qui ont roulé jusqu'au fond du ravin, où coule le petit torrent du Vizézy. Mais, chose curieuse! quand, en 1884, je passai en cet endroit pour monter au Simiouse, le filon, qui s'épanouissait sur le mur de granit vertical de cette route étroite et sans garde-fou, présentait encore, au niveau du fossé, une cavité d'où je pus aisément retirer un certain nombre de cristaux de quartz, de microcline, de cordiérite et d'apatite. Soumis depuis longtemps à l'influence des divers agents atmosphériques, ces cristaux, ceux de microcline surtout, en partie altérés, adhéraient à peine aux parois de la géode qui les renfermait; et personne, pas même le cantonnier chargé de l'entretien

de cette partie de la route, n'avait songé à explorer cette géode très visible pourtant et à en examiner le contenu.

Je viens présenter ici quelques observations sur ces cristaux de microcline. Bien cristallisé, ce feldspath est assez rare dans nos gisements français pour qu'il y ait quelque intérêt à le faire. Leur structure est assez particulière. Je donne, pour fixer les idées, et accompagnant la présente note, les figures (grandeur naturelle) de cinq des cristaux de microcline, qui m'ont paru les plus intéressants parmi ceux que j'ai recueillis. J'ajouterai que j'ai recherché en vain d'autres filons de ce genre dans le granite de cette région que j'ai explorée sur plusieurs kilomètres.

Ces cristaux ou fragments de cristaux sont essentiellement constitués par l'assemblage de lames minces parallèles à la face h^1; coupées par la base p, ces lames figurent des bandelettes (j'emploie le terme de Des Cloizeaux) perpendiculaires à l'arête pg^1; coupées par les faces m, t, a^1 et $a^{\frac{1}{2}}$, elles peuvent se réduire à l'arête mt; mais il subsiste parfois une face h^1, large et bien développée.

Le premier cas est réalisé dans la figure 1; le second dans la

Fig. 1.

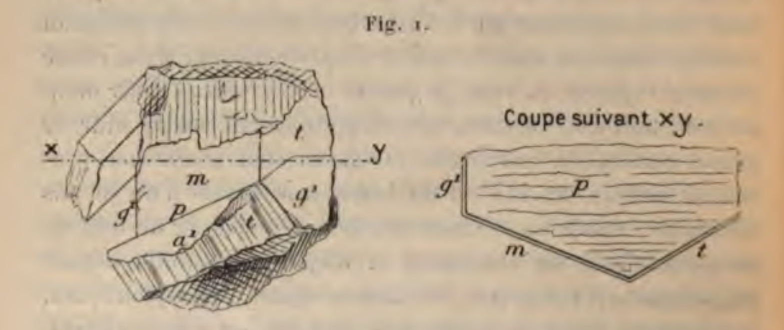
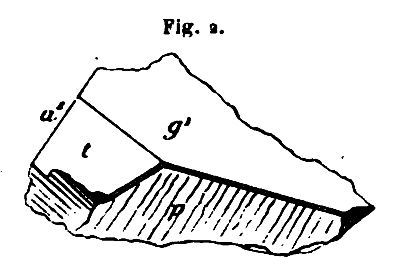


figure 5. Il semble que la nature ait voulu régulariser ces empilements de lames, où le quartz pénètre, et donner à ces

cristaux une netteté particulière en les recouvrant d'une enveloppe mince ($\frac{1}{2}$ millimètre environ) qui les préserve, en les munissant, si je puis dire, d'une sorte de *reliure*.

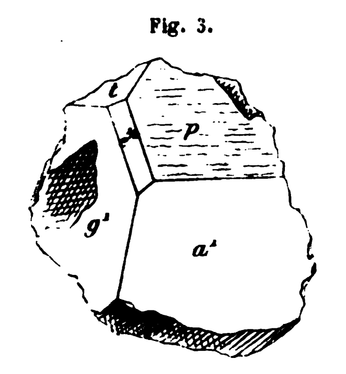
La partie gauche de la figure 1 présente un groupement de deux cristaux de microcline, dont le supérieur a une partie

Fig. 2.



de ses faces d'avant mtg^1 préservée, alors que l'autre a perdu son enveloppe et montre les stries verticales des lames de largeur décroissante qui composent le cristal. Dans l'infé-

Fig. 3.



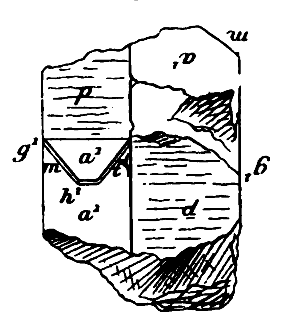
rieur, la face protectrice de *m* a disparu, et il ne reste qu'un fragment de celle de *t*; les faces g^1a^1 sont recouvertes.

La partie de droite donne une coupe suivant la ligne XY; on y voit l'enveloppe protectrice et les bandelettes perpendiculaires à pg^1.

Les figures 2 et 3 offrent la même structure, très visible sur la figure 2 notamment. La figure 3 présente la face $e^{\frac{1}{2}}$.

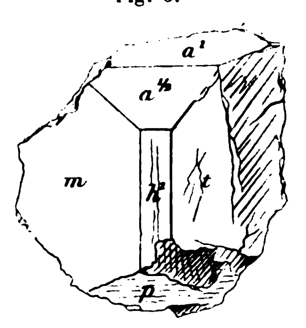
Enfin, la figure 4 se rapporte à une macle de Carlsbad, avec cette particularité que les faces *p* et a^1 des deux composants

Fig. 4.



qui se correspondent sont dans le même plan. Les faces *p* se distinguent des faces a^1 par le système des bandelettes perpendiculaires à pg^1 ; de plus, sur le composant de gauche, on

Fig. 5.



aperçoit l'affleurement sur a^1 des faces *m*, *t* et h^1 d'un petit cristal englobé dans le grand.

Il serait intéressant de pouvoir expliquer comment l'afflux ultime du liquide générateur de ce microcline a pu produire

ce recouvrement régulier des faces, sauf p, sans provoquer, comme dans le quartz, pour ne citer que ce minéral, la formation de ces curieuses pyramides surbaissées. J'appelle sur ce point l'attention de mes savants collègues.

Notes minéralogiques;

Par F. Gonnard.

1. — Sur les faces de la zone ph^1 du feldspath potassique.

Les faces connues de la zone ph^1 dans le feldspath potassique (orthose et microcline) sont, outre $p(001)$ et $h^1(100)$, les suivantes : $a^{\frac{1}{2}}(\bar{2}01)$, $a^{\frac{3}{4}}(\bar{4}03)$, $a^1(\bar{1}01)$ et $a^{\frac{3}{2}}(\bar{2}03)$ (¹); mais, de ces six faces, celles que l'on rencontre communément avec p sont $a^{\frac{1}{2}}$ et a^1; la face h^1 est assez rare, et, sur plusieurs milliers de cristaux de l'orthose de Four-la-Brouque que j'ai étudiés, je ne l'ai pas observée une seule fois. La face $a^{\frac{3}{2}}$ est, semble-t-il, plus rare encore; je l'ai rencontrée cependant très largement développée sur des cristaux d'adulaire du Saint-Gothard. Quant à la face $a^{\frac{3}{4}}$, elle n'a guère été, à ma connaissance du moins, citée que sur ces quelques cristaux du granite de Königshain, près de Görlitz (Silésie) par Woitschach, du Zillerthal (Tyrol) par von Zepharovich, et du Vésuve par vom Rath.

J'ai, pour ma part, signalé h^1, excessivement nette, sur de gros cristaux de microcline d'une belle pegmatite à cordiérite sur les bords du Vizézy, à 10^{km} de Montbrison (²). Mais je n'ai

---

(¹) Des Cloizeaux a observé la face $a^{\frac{8}{9}}$ sur un cristal d'un blanc d'émail de l'île d'Elbe. (*Manuel de Minéralogie*, t. II, 1874, p. 35).

(²) *Bullet. Soc. Min.*, t. XXVIII, 1905, p. 17.

jamais observé $a^{\frac{3}{2}}$ non plus que $a^{\frac{3}{4}}$ sur les nombreux cristaux provenant de gisements français que je possède ou que j'ai pu examiner dans des collections publiques ou privées. Par contre, j'ai constaté l'existence de $a^{\frac{3}{4}}$ sur des échantillons de cristaux de feldspath étrangers où elle n'avait pas été mentionnée, à ce que je crois.

Ma première observation a trait à des cristaux d'orthose du granite de Striegau (Silésie), que j'ai reçus autrefois de mon correspondant et ami, le professeur von Lasaulx. Une jolie macle de Baveno m'a, entre autres, offert la combinaison de formes $mpg^1 a^{\frac{1}{2}} a^{\frac{3}{4}} a^1 b^{\frac{1}{2}}$: les deux composants de la macle très régulière ont leurs faces de même notation également bien développées ; les deux $a^{\frac{3}{4}}$, notamment, sont toutes deux larges et nettes ; l'un des composants porte sur m un cristal orienté *d'albite* limpide ; tous les deux portent aussi de petits cristaux implantés ou couchés d'épidote vert clair. J'ai mesuré, au goniomètre d'application, l'angle $pa^{\frac{3}{4}}$, et trouvé sensiblement 116°30′, c'est-à-dire presque la valeur exacte de l'angle calculé.

Ma seconde observation se rapporte à des cristaux de microcline provenant de la localité d'Isomroudnaiakop, à 85 verstes d'Ekaterinenbourg (Oural), et que m'avait rapportés, il y a quelques années, un de mes camarades, qui avait séjourné dans le pays comme ingénieur d'une Société franco-russe.

Ces cristaux atteignent un gros volume ; car un fragment de clivage de l'un d'eux dépasse une longueur de $0^m,12$; la couleur est d'un jaune marron. Un cristal simple, de plus petites dimensions, m'a présenté la combinaison de formes $mpg^1 g^2 a^{\frac{1}{2}} a^{\frac{3}{4}} a^1 b^{\frac{1}{2}}$; les faces $a^{\frac{1}{2}}$ et a^1 sont planes et largement développées, ainsi que $b^{\frac{1}{2}}$, celle-ci d'un côté seulement ;

mais $a^{\frac{3}{1}}$, quoique très visible, est arrondie légèrement et semblerait alors appartenir à ces faces auxquelles on a appliqué la désignation de *faces vicinales*.

2. — Des associations minérales de la boulangérite de la Haute-Loire.

J'ai reçu il y a quelque temps, de M. Gibaud, ingénieur civil des Mines, des échantillons de minerais provenant de la mine de boulangérite de la Rodde, canton de la Voûte-Chilhac (Haute-Loire); comme je crois qu'en dehors de quelques indications données par M. Pierre de Brun dans son intéressant *Essai de minéralogie du département de la Haute-Loire*, publié en 1902, et d'un rapport qu'a bien voulu me communiquer M. Giband, les minéraux de ce gîte n'ont pas encore été l'objet d'une étude (¹), je viens ici simplement présenter quelques observations qui pourront contribuer à attirer l'attention des minéralogistes sur cette concession de Freycenet-la-Rodde, qui est formée de la réunion de deux concessions, celle de Freycenet pour antimoine, et celle de la Rodde pour plomb et argent.

La boulangérite est un minéral fort rare en France; et, jusqu'à ces dernières années, on ne connaissait dans notre pays que le gîte de Molières, près du Vigan (Gard) (*voir* A. Lacroix, *Minéralogie de la France et de ses Colonies*, t. II, p. 696).

M. de Brun indique, comme accompagnant ce minéral, d'autres minéraux qui en dérivent par altération; ce sont le massicot, la bleiniérite et la cérusite.

(¹) En novembre 1904, M. Ad. Richard a cependant décrit (*Bull. Soc. minér.*, t. XXVII, p. 218), la bournonite de ce gisement, indiqué sous le nom de *Mines d'Ally*.

Il ajoute que la boulangérite est souvent très argentifère. En effet, d'après le rapport de M. Giband, la tonne de minerai marchand contiendrait 1kg,600 d'argent.

La gangue de la boulangérite de la Rodde est quartzeuse, et dans les géodes fréquentes au sein de la masse, le quartz cristallise en cristaux de couleur parfois brun marron et bipyramidés. J'ai observé dans ces géodes de petits octaèdres de galène accompagnant les prismes de quartz.

Indépendamment de la galène, une grande géode, dont un fragment m'a été remis, m'a offert reposant sur les cristaux de quartz, avec un léger enduit cristallin jaune de massicot, de nombreux cristaux de mimétite brun pâle, ayant 4mm de plus grande dimension; ce sont des prismes hexagonaux affectant la forme de barillets fréquente dans cette espèce minérale.

Un autre minéral qu'on rencontre également avec les précédents, mais encore d'une manière accidentelle, est la barytine, gangue si abondante d'ailleurs dans les gîtes métallifères de la Haute-Loire et surtout du Puy-de-Dôme.

Ouvrages reçus en don pendant l'année 1904;

Compte rendu par M. Jean Herbette.

La Société Française de Minéralogie exprime ses vifs remercîments aux auteurs qui ont bien voulu lui offrir leurs Ouvrages.

I. — Livres.

P. Groth : Tableau systématique des minéraux. *Traduction française* (*avec corrections et additions de l'auteur*) par MM. Joukowsky et Pearce. *A Genève, chez Grebel, Wendler et Cie.*

Le Tableau bien connu, dont la traduction rendra les plus grands services aux minéralogistes français, constitue un essai de classification rationnelle des minéraux, d'après leur constitution chimique et leur forme cristalline. Son principal intérêt est de permettre une vue d'ensemble sur des espèces qu'on est d'ordinaire obligé de considérer isolément, et dont on saisit d'autant mieux les caractères qu'elles se présentent par séries. Sa plus grande nouveauté vient de ce que l'auteur a substitué le plus souvent possible aux formules brutes, telles que $Fe^4O^9H^6$, ou aux formules empiriques, telles que $2Fe^2O^3,3H^2O$, des formules de constitution analogues à celles de la Chimie organique. Sans se faire d'illusion sur la valeur définitive de certaines de ces formules, malheureusement fondées sur trop peu d'observations encore, on doit voir avec joie l'organisation méthodique succéder à la confusion.

M. Groth, du reste, aperçoit mieux que personne les lacunes de nos connaissances; il avoue que la relation entre la composition chimique et la forme cristalline « est loin d'être clairement établie »; il ajoute que « l'on n'a pas encore pu établir une loi générale qui détermine le passage des rapports paramétriques entre les deux termes extrêmes d'une série de mélanges isomorphes ». Comment, en effet, la description des minéraux naturels pourrait-elle aisément permettre d'établir des rapports entre la composition et la symétrie cristalline, alors qu'en Chimie organique on ne peut encore rien déduire de semblable des séries les mieux étudiées [1]? Et comment même raisonner avec quelque sécurité sur les paramètres des cristaux, alors que ces grandeurs, et avec elles dans certains cas l'orientation des axes, sont frappées

[1] Qu'il suffise de rappeler que, dans les tartrates droits, les racémates et les tartrates inactifs, la symétrie de l'édifice cristallin paraît être plus grande quand celle de la molécule est moindre.

d'indétermination? Car il n'y a que peu d'espèces où des groupements aient laissé reconnaître la véritable symétrie du réseau.

Il serait donc prématuré de vouloir fonder une classification entièrement satisfaisante sur nos renseignements incomplets. Mais c'est précisément la difficulté de l'œuvre qui en fait l'originalité et la valeur. Et l'on devra sans doute une foule d'idées et de recherches nouvelles au livre que MM. Joukowsky et Pearce ont, par leur excellente traduction, mis à la disposition du public français.

∴

Le Tableau de M. Groth présente les minéraux dans l'ordre suivant : d'abord les corps simples; les sulfures et les oxydes; puis les sels, rangés d'après la valence de leur acide; enfin les composés organiques. Les dix classes entre lesquelles les espèces se répartissent comprennent :

1. Les corps simples, purs ou à l'état de mélanges isomorphes.

2. Les sulfures, séléniures, tellurures et les sulfosels.

3. Les oxydes, les hydroxydes et les oxysulfures.

4. Les sels des acides non oxygénés univalents : fluorures, chlorures, bromures et iodures; les oxychlorures et les oxyfluorures.

5. Les sels des acides oxygénés univalents : iodates, nitrates; on y a joint les carbonates, « avec lesquels d'ailleurs certains nitrates présentent quelque relation dans la forme cristalline ».

6. Les sels des acides bibasiques : sulfates, chromates, molybdates, tungstates et les uranates.

7. Les combinaisons où l'alumine et l'oxyde ferrique jouent le rôle d'acides trivalents; les borates, les arsénites et les antimonites.

8. Les phosphates, arséniates, antimoniates, vanadates, niobates et tantalates, et leurs dérivés.

9. Les composés des acides quadrivalents : silicates, titanates, zirconates, etc. Cette classe est naturellement de beaucoup la plus considérable et la plus complexe.

10. Les rares combinaisons organiques naturelles.

Les preuves les plus frappantes de l'effort tenté pour grouper les espèces dans un ordre rationnel, et de l'heureux résultat auquel l'auteur est parvenu, se trouvent peut-être dans les classes 2 (sulfures et sulfosels), 8 (phosphates et analogues) et 9 (silicates, etc.).

La classe des sulfures comprend quatre séries remarquables, deux à deux parallèles, les deux premières se rattachant respectivement à la blende et à la wurtzite, les deux autres à la pyrite et à la marcassite. Le dimorphisme se répète d'ailleurs chez les sulfures du cuivre, de l'argent et du plomb (série cubique de l'argyrose, série pseudosénaire de l'acanthite) et chez ceux du mercure. M. Groth a essayé, pour les séries blende-wurtzite et les séries pyrite-marcassite, d'établir des formules de constitution; il remarque, par exemple, que le remplacement isomorphique du soufre par l'arsenic et l'antimoine se produit pour les sulfures du type wurtzite et ne se réalise pas chez ceux du type blende; il en déduit que la formule des premiers est probablement $R\langle{}^{S}_{S}\rangle R$, ce qui peut conduire à $R\langle{}^{As}_{As}\rangle R$ (avec liaison As—As), et celle des seconds ${}^{R}_{R}\rangle S$, ce qui exclut toute introduction d'un élément trivalent. Il est très intéressant de noter, d'après M. Doelter, que les dissolutions de ZnS cubique donnent des cristaux cubiques, et les dissolutions de ZnS ternaire des cristaux ternaires. De sorte qu'il est tout à fait légitime de chercher dans une différence de structure moléculaire l'origine de ce dimorphisme.

Les formules de constitution jouent un rôle encore plus important dans les séries, inextricables sans elles, des sulfosels. C'est ainsi que les sulfoferrates (bornite, chalcopyrite, barnhardtite) apparaissent comme des sels cuivreux des acides :

$$Fe\begin{cases}SH\\SH\\SH\end{cases}\qquad Fe\begin{cases}=S\\-SH\end{cases}\qquad \begin{matrix}Fe\begin{cases}SH\\SH\end{cases}\\ \rangle S\\ Fe\begin{cases}SH\\SH\end{cases}\end{matrix}\ .$$

Des considérations analogues s'appliquent aux sulfoarsénites, sulfoantimonites, sulfobismuthites.

La classe si complexe des phosphates, arséniates, vanadates, etc. est très clairement répartie entre les groupes suivants :

Anhydres.	Hydratés.
Sels normaux ou acides des acides ortho, méta, pyro.	Sels normaux ou acides.
Sels basiques. Sels fluorés ou chlorés.	Sels basiques.
Combinaisons avec les sulfates et les chromates.	Combinaisons avec les carbonates, sulfates et borates.

Il faut avouer avec l'auteur lui-même que certaines formules de constitution, en particulier celles de la plupart des phosphates hydratés, sont hypothétiques. Mais, quand elles ne serviraient qu'à faciliter une vue d'ensemble et à inspirer de nouveaux travaux, elles seraient loin d'être inutiles.

On sait combien les recherches de M. Groth ont fait progresser la chimie des silicates, si difficile à étudier. Car, ainsi que le remarque ce savant, les silicates « sont d'une stabilité si grande, que l'on ne peut, comme en Chimie orga-

nique, décomposer progressivement la molécule, et l'on doit avoir recours à des réactions très énergiques, qui fournissent toujours les mêmes produits finaux ». On est donc réduit à examiner les décompositions opérées par les agents naturels, agents très faibles, dont l'attaque très lente laisse souvent subsister « une partie des groupes atomiques du minéral primitif ».

La distinction sur laquelle repose toute la classification des silicates est celle des différents acides qu'on peut dériver de l'acide orthosilicique $Si(OH)^4$ par élimination d'eau soit sur une seule molécule, soit entre deux ou plusieurs molécules. On obtient ainsi :

En retirant H^2O à une molécule d'acide ortho, l'acide méta

$$O = Si \begin{matrix} \diagup OH \\ \diagdown OH \end{matrix},$$

dont le sel neutre de magnésium est l'enstatite

$$O = Si \begin{matrix} \diagup O \diagdown \\ \diagdown O \diagup \end{matrix} Mg,$$

alors que l'orthosilicate correspondant est l'olivine

$$Si \begin{matrix} \diagup \begin{matrix} \diagup O \diagdown \\ \diagdown O \diagup \end{matrix} Mg \\ \diagdown \begin{matrix} \diagup O \diagdown \\ \diagdown O \diagup \end{matrix} Mg \end{matrix};$$

En éliminant H^2O entre deux molécules d'acide ortho, l'acide diorthosilicique

$$\begin{matrix} Si(OH)^3 \\ | \\ O \\ | \\ Si(OH)^3 \end{matrix},$$

dont la cordiérite paraît être un sel basique;

En éliminant $4H^2O$ entre trois molécules d'acide ortho, l'acide trisilicique

$$\begin{array}{ccccccc} & HO & & HO\ OH & & OH & \\ & | & & \diagdown\diagup & & | & \\ O = & Si & - O - & Si & - O - & Si & = O, \end{array}$$

dont les feldspaths potassiques et sodiques seraient les sels neutres.

Une autre considération importante est celle des silicates basiques, dans lesquels un ou plusieurs atomes d'hydrogène sont remplacés par des groupes tels que (AlO). Ainsi l'on peut déduire de l'acide ortho le composé

$$\begin{array}{l} \ \ \diagup O \diagdown \\ Si - O - Al \\ \ \ \diagdown O \diagup \\ \ \ \diagdown O - Al = O \end{array}$$

et de l'acide méta le composé, de même formule brute que le précédent :

$$O = Si \begin{array}{l} \diagup O - Al = O \\ \diagdown O - Al = O \end{array}$$

Par des arguments convaincants, M. Groth montre que le premier composé est l'andalousite et le second le disthène.

Enfin, il importe de tenir compte de ce fait que fréquemment un silicate riche en Si est parfaitement isomorphe avec un autre silicate riche en Al et forme avec lui des mélanges en toutes proportions. Cette particularité peut s'expliquer si, en présence de bases fortes, l'alumine peut jouer le rôle d'acide et remplacer partiellement la silice. C'est ainsi que dans le groupe de l'augite on observe le mélange des deux composés

$$O = Si \begin{array}{l} \diagup O - Mg - O \diagdown \\ \diagdown O - Ca - O \diagup \end{array} Si = O \qquad \text{(diopside)}$$

et

$$O = Si\langle \begin{matrix} O - Mg - O \diagdown \\ \qquad\qquad\qquad O - Al. \\ O - Al - O \diagup \end{matrix}$$

L'ordre dans lequel les silicates sont classés est le suivant :

I. — Silicates anhydres ([1]).

A. Silicates basiques (silicates dont le rapport d'oxygène est supérieur à 1 : 1). Ce sont d'ordinaire des orthosilicates basiques, comme la staurotide, l'ilvaïte, etc., ou fluorés, comme la topaze; il faut y joindre le groupe de la tourmaline. Les chlorites et leurs analogues ont été renvoyés au groupe suivant à cause de leurs relations avec les micas.

B. Orthosilicates normaux (forstérite, olivine, etc.; groupe des grenats) et acides (dioptase, etc.; groupe des micas). Chlorites, clintonites, etc.

C. Silicates « intermédiaires », dont le rapport d'oxygène est compris entre celui des ortho et celui des métasilicates (néphéline, groupe de la sodalite, cordiérite, mélilite, etc.).

D. Métasilicates normaux (pyroxènes, amphiboles). Métatitanates (pérowskite, etc.). Béryl, leucite.

E. Polysilicates, ou sels de l'acide trisilicique (orthoclases, plagioclases, wernérites) et d'autres acides plus complexes (sphène, pétalite, etc.).

II. — Silicates hydratés.

F. Zéolites, réparties en ortho, méta et polysilicates.

([1]) On regarde comme anhydres les silicates qui contiennent de l'eau à l'état d'hydroxyles, et qui généralement ne la perdent qu'au rouge. Les silicates qui, au contraire, perdent facilement de l'eau sont considérés comme la contenant à l'état d'eau de cristallisation et figurent sous le titre de *silicates hydratés*.

G. Combinaisons hydratées de silicates avec des carbonates, des sulfates et des uranates.

H. Silicates hydratés amorphes.

Il est certainement superflu, après ce rapide exposé, d'insister sur l'utilité que présente le Tableau de M. Groth, non seulement pour ceux qui s'occupent de recherches, mais pour tous ceux qui s'intéressent à la Minéralogie.

H. Rosenbusch : Mikroskopische Physiographie der Mineralien und Gesteine. *I^re Partie du Tome I, entièrement refondue* par E.-A. Wulfing.

Cet Ouvrage renferme les notions préliminaires, tant théoriques que pratiques, qui sont nécessaires en Pétrographie. Il comprend cinq parties, consacrées respectivement aux calculs et projections, à la détermination de la dureté et de la densité, aux propriétés optiques, aux propriétés morphologiques (formation des cristaux, inclusions, agrégats), à l'emploi de là chimie (dissolution, corrosion, méthodes de séparation, microchimie). Comme il est naturel, la partie consacrée à l'optique est de beaucoup la plus développée; on y trouve, à côté d'un exposé succinct de la théorie de la polarisation, des indications très étendues sur la préparation des plaques minces, sur les divers appareils en usage (microscopes, réfractomètres, etc.) et enfin une description des méthodes à employer, des observations et des mesures à faire.

*
* *

II. — Extraits.

H. Buttgenbach : Les gisements de cuivre du Katanga. (*Annales de la Société géologique de Belgique*, t. XXXI, *Mémoires*.)

H. Buttgenbach : Quelques observations sur les champs diamantifères de Kimberley. (*Ibidem*, t. XXXII, *Mémoires*.)

W. Prinz : Sur la monazite et le xénotime de Nil-Saint-Vincent (Brabant). (*Bulletin de l'Académie royale de Belgique*, n° 3, 1904.)

M. Mourlon : Referendum bibliographique du Service géologique de Belgique. (*Annales de la Société géologique de Belgique*, t. XXX, *Bibliographie*.)

M. Mourlon : Encore un mot sur les travaux du Service géologique de Belgique.

G. Simoens : Réponse aux critiques formulées par M. E. de Margerie au sujet de la *Bibliographia Geologica*.

G. Friedel : Études sur les groupements cristallins. (*Bulletin de la Société de l'Industrie minérale*, 4e série, t. III et IV.)

C. Klein : Ueber einen Zusammenhang zwischen optischen Eigenschaften und chemischer Zusammensetzung beim Vesuvian. (*Sitzungsberichte der K. Preussischen Akademie der Wissenschaften*, 1904, XX.)

C. Klein : Mitteilungen über Meteoriten. (*Ibidem*, 1904, XXXII.)

C. Doelter : Die Silikatschmelzen. (*Sitzungsberichte der K. Akademie der Wissenschaften in Wien*, t. CXIII, n° 1.)

Berta Vukits : Beobachtungen an Silikaten im Schmelzfluss. (*Centralblatt*, 1904, 23-24.)

G. d'Achiardi : Forme cristalline del berillo Elbano. (*Processi verbali della Società Toscana di Scienze naturali*, 1904.)

G. d'Achiardi : Di alcuni minerali dei filoni tormaliniferi nel granito di San-Piero in Campo (Elba). (*Ibidem.*)

P. Aloisi : Rocce dell' isola Dissei. (*Atti della Società Toscana di Scienze naturali*, t. XIV, n° 2.)

G. Spezia : Sulla anidrite micaceo-dolomitica. (*Academia reale delle Scienze di Torino*, 1902-1903.)

Minéraux nouveaux ;

Par M. Paul Gaubert.

Vanthoffite : C'est un sulfate de soude et de magnésie $3Na^2SO^4, MgSO^4$, mélangé intimement aux autres sels du gisement de Wilhelmshall près de Stassfurt; aussi son existence n'a-t-elle été mise en évidence que par de nombreuses analyses des dépôts salins auxquels il est associé, analyses dont les résultats étaient représentés par des courbes. Ce minéral, presque incolore, cristallisé, mais sans faces, a pu être isolé par les liqueurs denses. Il avait été antérieurement préparé artificiellement par M. Van't Hoff auquel le minéral a été dédié. (K. Kubierschky, *Sitz. ber. Akad. Wiss. Berlin*, 1902, p. 407).

Hellandite : Ce minéral se présente en gros cristaux monocliniques de couleur noirâtre, plus ou moins altérés et contenant une certaine quantité d'eau variable avec les échantillons (les plus frais en renferment 7,55 pour 100), aussi ils sont complètement isotropes. La formule probable de la hellandite est

$$Ca^2\overset{'''}{R}^3(R'''O)^3(SiO^4)^4$$

dans laquelle

$$\overset{''}{R} = Ce, Di, La, Al, Fe, Mn.$$

Elle peut être rapprochée de la guarinite.

La hellandite, dédiée à M. Helland, de Christiania, se trouve dans des filons de pegmatite, près de Kragerö (Norvège). (W.-C. Brögger, *Nyt Mag. Nat., Kristiania*, t. XLI, 1903, p. 213.)

Hackmanite : Une erreur, par suite de la suppression d'une ligne, s'est glissée dans la description de ce minéral (t. XXV, 1902, p. 63).

Il faut lire : La hackmanite a la composition de la sodalite

$$Na^4(AlCl)Al^2(SiO^4)^3$$

avec 6,23 pour 100 de

$$Na^4[Al(NaS)]Al^2(SiO^4)^3.$$

Elle se trouve dans une roche appelée *tawite*.

Beckelite — Ce minéral, presque incolore, appartient au groupe du pyrochlore et se présente en grains ou en cristaux cubiques, ayant la forme du dodécaèdre rhomboïdal s'ils atteignent une certaine dimension (de 1^{mm} à 5^{mm}) ou de l'octaèdre régulier, dont les sommets sont rarement tronqués par les faces du cube, quand ils sont plus petits. Clivage facile suivant *p*. Il est transparent en lames minces, est très réfringent et habituellement isotrope. La densité est de 4,15 et la dureté de 5.

La composition chimique est la suivante :

SiO^2 17,13; ZrO^2 2,50; Mn^2O^3 0,07; CaO 15,46; MgO traces, K^2O 0,39; Na^2O 0,78; Al^2O^3 0,30; Fe^2O^3 traces; (Y^2O^3, Er^2O^3) 2,80; Ce^2O^3 28,10; La^2O^3 13,60; Di^2O^3 18.

Les résultats sont représentés par la formule

$$Ca^3(Y, Ce, La, Di)^4(Si, Zr)^3O^{15}.$$

La beckelite est infusible au chalumeau et donne une perle jaune verdâtre au feu d'oxydation et au feu de réduction avec le sel de phosphore. Facilement soluble dans les acides.

Ce nouveau minéral, dédié à M. F. Becke, le savant professeur de l'Université de Vienne, se trouve dans une syénite néphélinique particulière (*mariupolite*) de l'île Komandor (mer d'Azow). (J. Morozewicz, *Bull. de l'Ac. des Sc. de Cracovie,* 6 déc. 1904.)

Erikite. — Les cristaux orthorhombiques, parfois riches en faces, ont une couleur allant du brun jaunâtre au brun gris.

Ils sont opaques, mais examinés au microscope ils paraissent formés d'un mélange de deux substances : l'une peu colorée, très peu biréfringente; l'autre jaune et possédant une double réfraction énergique. L'une d'elles est évidemment un produit d'altération.

L'analyse faite par M. Ch. Christensen a fourni les résultats suivants :

SiO^2 15,12; P^2O^5 17,78; $(Ce, La, Di)^2O^3$ 40,51; ThO^2 3,26;
Al^2O^3 9,28; CaO 1,81; Na^2O 5,63; H^2O 6,28;
Total : 99,67,

qui ne permettent d'établir avec sûreté aucune formule puisqu'ils représentent la composition de deux minéraux.

L'érikite se trouve dans la syénite néphélinique de Julianehaab (Groenland). Elle a été dédiée à Erik le Rouge qui a découvert ce pays en 986 (O.-B. Böggild, *Medd. om Grönland,* t. XXVI, 1903).

Le Secrétaire gérant :
Maurice BLONDEL.

36297 Paris. — Imp. Gauthier-Villars, 55, quai des Grands-Augustins.

Photog. Benque

Héliog. Schutzenberger Paris

F. Fouqué

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE.

ANNÉE 1905. — BULLETIN N° 2.

Compte rendu de la séance du 9 février 1905.

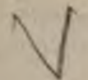
PRÉSIDENCE DE M. Fred. WALLERANT.

M. le PRÉSIDENT proclame membre de la Société :

M. C. SANDBERG, licencié ès sciences, présenté par MM. A. Lacroix et de Romeu.

M. WYROUBOFF remercie la Société de l'honneur qu'elle lui a fait en le nommant Membre honoraire.

M. WALLERANT fait une Communication sur l'isodimorphisme des azotates.



Notice sur F. Fouqué;

Par M. Michel Lévy.

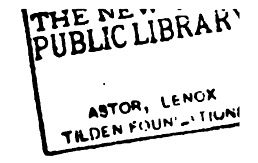
La mort ne se lasse pas d'éclaircir les rangs des Membres de notre Société; parmi eux, elle a récemment frappé un de nos plus illustres confrères qui a été, pour moi, un maître aimé, un ami fidèle, un collaborateur pendant plus de vingt ans. Je voudrais retracer sommairement sa vie scientifique et faire ressortir les découvertes que nous lui devons.

Né à Mortain (Manche), le 21 juin 1828, Fouqué s'est d'abord présenté avec succès aux examens de Saint-Cyr en 1847, à ceux de l'École d'Administration en 1848 et enfin à l'École Normale où il entra en 1849.

Élève, puis préparateur d'Histoire naturelle à l'École normale supérieure, il publie en 1853, en collaboration avec Henri Sainte-Claire Deville, une Note sur les pertes des minéraux fluorés, et notamment de la topaze, par la chaleur. Après une courte fugue dans l'industrie des produits chimiques, Fouqué se laisse tenter par les études médicales et passe, avec succès, en 1858 sa thèse de doctorat en médecine *Sur un mode particulier d'emploi du thermomètre.*

En 1861, il accompagne, comme aide volontaire, Charles Sainte-Claire Deville, au Vésuve alors en éruption; et il assiste son maître dans l'étude des fumerolles de ce volcan. Dès lors sa vocation se déclare, sa voie est tracée et il la suivra avec une ténacité qui fait contraste avec les fluctuations qui ont marqué sa sortie de l'École Normale.

En 1865, Fouqué visite à deux reprises différentes l'Etna alors en pleine éruption; il assiste à la propagation de haut en bas de la fracture radiale qui, partant du centre du volcan et de son sommet, s'abaisse peu à peu sur son flanc



nord-est. En même temps, les cônes adventifs de projection et les points de sortie de la lave s'abaissent eux aussi, toujours alignés sur la déchirure initiale.

Fouqué a rapporté, de ce double séjour au sommet de l'Etna, des trésors d'observations sur les fumerolles, sur les courants de lave, leurs tunnels, leurs moraines, les étuis protecteurs dont ils entouraient certains arbres séculaires; il en a fait plus tard l'objet d'une série de leçons impressionnantes.

Durant cette même année 1865, il profite de son voyage en Sicile pour étudier la chimie volcanique des îles Éoliennes et visiter de nouveau le Vésuve et la Solfatarre. A son retour, il fait paraître, dans les *Annales des missions scientifiques et étrangères,* un Mémoire étendu *Sur les phénomènes chimiques qui se produisent dans les volcans;* ce Mémoire lui sert de thèse pour le grade de Docteur ès Sciences physiques; il la soutient avec succès le 9 août 1866.

Santorin fait partie d'un groupe d'îles volcaniques encore en activité, au sud de la mer Egée; il constitue une sorte de cirque, vaste cratère sous-marin, à bords en partie exondés, et occupe le milieu de l'arc volcanisé qui s'étend d'Égine et Methana à l'ouest, à Nisyros vers l'est en passant par Milo.

Fouqué s'est donné tout entier à l'étude de cet archipel; il y a fait quatre séjours, dont deux prolongés. Son premier voyage à Santorin date de 1866; il observe les débuts de l'éruption qui a attiré l'attention du monde savant sur le petit groupe volcanique en ignition dans la mer Egée.

Le développement des centres éruptifs naissants se manifeste sous forme d'îlots de nouvelle formation, émergeant du fond de la mer et composés exclusivement de fragments entassés de lave solidifiée, sous lesquels brille une masse pâteuse portée au rouge. Ces sortes de cumulo-volcans, à l'érection desquels il assiste, correspondent à la prolongation de profondes crevasses qui viennent de fissurer l'ancien sol

de Néa-Kaméni, dont une moitié s'affaisse pendant que l'autre se soulève par mouvements lents. Dès que les cumulo-volcans sont suffisamment émergés, il en sort des coulées d'andésites très visqueuses qui se tiennent encore, sans morcellement, sur des pentes telles que la théorie des cratères de soulèvement y perd son principal et dernier argument.

A peine émergés, les cumulo-volcans de Santorin sont périodiquement attaqués par de formidables explosions qui finissent par creuser, au sommet du Giorgios, un cratère irrégulier. En même temps, les fumerolles, qui jaillissent sous la mer, donnent naissance à des bulles de gaz inflammables. En outre les croûtes salines des fumerolles sèches sont riches en sels magnésiens, généralement rares en pareille occurrence.

En cette même année 1866, Fouqué explore Methana, Sousaki, Milo, puis, dès le commencement de 1867, il assiste, à Terceira, dans l'archipel des Açores, à une éruption de faible importance et retourne à Santorin, où les substructions préhistoriques, récemment découvertes sous les ponces anciennes, exploitées comme pouzzolane, lui procurent une série de trouvailles du plus haut intérêt géologique et archéologique.

En 1869, Fouqué parcourt les Appennins en compagnie de M. Gorceix, et étudie les lagonis, gaz combustibles, volcans boueux et salzes de cette région. Il découvre à Sassoni des dégagements d'hydrure d'éthyle qui provoquent de sa part la comparaison avec les émanations des puits pétrolifères des Etats-Unis; les deux collaborateurs rapportent les éléments d'un important Mémoire sur les nombreuses sources et émanations qu'ils ont pu analyser.

Un deuxième voyage aux Açores, en 1873, est consacré à l'ascension du volcan de Pico et à l'examen des sources geyzériennes de San-Miguel.

Nous touchons à la fin de la première période de la carrière scientifique de Fouqué; avec une incomparable énergie et un inlassable courage, il a multiplié ses courses aux centres volcaniques de l'Italie méridionale, de la Grèce, des Açores. Les analyses effectuées sur place et contrôlées au laboratoire, les matériaux de toute sorte recueillis et déjà partiellement étudiés, représentent un trésor inépuisable dont il n'a pu utiliser qu'une partie, sa vie durant.

En 1873-1874, il est chargé de la suppléance du cours d'Élie de Beaumont, en 1875-1876 de celle de Charles Sainte-Claire Deville. C'est durant ce dernier cours qu'il introduit en France l'étude micrographique des roches dont Sorby en Angleterre, Vogelsang en Hollande, Zirkel et Rosenbusch en Allemagne avaient établi les premiers rudiments.

Fouqué venait de faire paraître sa Note sur de nouveaux procédés d'analyse médiate des roches; elle contenait deux très belles photographies de plaques minces de Santorin et la découverte suggestive de procédés mécaniques et chimiques d'épuration des minéraux composant les roches, basés sur l'emploi de l'électro-aimant, qui attire les minéraux ferrifères, et de l'acide fluorhydrique, qui attaque rapidement les minéraux acides. Mais il avait, en outre, dès lors en portefeuille presque tous les éléments, déjà rédigés, de son livre sur Santorin; il y était retourné une troisième fois en 1875, pour constater les derniers changements survenus, du fait des phénomènes éruptifs décroissants.

Lauréat du prix Cuvier, en 1876, il est, en 1877, nommé titulaire de la Chaire du Collège de France, qu'il a occupée durant 27 années; enfin, en 1880, il est appelé à faire partie de la Commission de la Carte géologique de la France, et en 1881 il entre à l'Académie des Sciences, qu'il aura l'honneur de présider en 1901.

Dès lors, sa vie laborieuse, pour se dépenser sur des théâ-

tres moins lointains et en des besognes plus variées, n'en est pas moins utile au progrès de la Science.

Il attaque, dans la Haute-Auvergne, l'étude détaillée de quatre feuilles au 80000ième, Brioude, Saint-Flour, Aurillac, Mauriac, et donne au Service de la carte géologique de la France le résultat de douze années de courses sur le terrain, cartes, notices, et résumé de la succession des éruptions du Cantal. Il a récemment publié, dans notre *Bulletin*, quelques analyses détaillées des roches si instructives de ce grand volcan démantelé.

En 1879, Fouqué se décide enfin à faire paraître son grand Ouvrage sur Santorin; en outre, avec ma collaboration, il publie la Minéralogie micrographique, dont les planches ont contribué à vulgariser les nombreuses structures d'association des minéraux, révélées par le microscope; les 800 exemplaires de ce livre ont été épuisés en moins de dix ans.

De 1878 à 1882, les synthèses artificielles des minéraux et des roches par fusion ignée et recuits successifs, occupent les deux collaborateurs qui résument leurs travaux et ceux de leurs devanciers dans un Volume paru en 1882.

A la suite du grand tremblement de terre qui a ravagé, à la fin de 1884, la plus grande partie de l'Andalousie, Fouqué accepte la direction d'une mission chargée par l'Institut d'en étudier sur place les effets et les causes; il en rapporte, avec son collaborateur, un programme d'expériences sur la vitesse de propagation des vibrations dans les sous-sols de diverses natures; ces expériences, effectuées au moyen d'explosif ou de chocs du marteau-pilon et d'un appareil basé sur l'enregistrement photographique des vibrations d'un bain de mercure, à l'Observatoire de Meudon (sables de Fontainebleau), au Creusot, dans les mines de Commentry, dans le marbre de Saint-Léon, révèlent que, dans le granite, la vitesse de

propagation dépasse 3000^m par seconde pour descendre au-dessous de 300^m dans les sables de Meudon. Les vitesses de propagation des séismes des Antipodes, à travers le globe terrestre, ont récemment confirmé l'exactitude de ces expériences.

Les Romains faisaient usage d'une couleur bleue, dite bleu égyptien ou vestorien, dont la résistance aux agents chimiques et la belle teinte frappent les yeux, dans les fresques de Pompéi et du Vatican. Cette couleur était inconnue de l'industrie moderne; Fouqué en a déterminé la composition : c'est un silicate double de cuivre et de chaux; il se présente en lamelles quadratiques à un axe négatif et s'obtient par fusion ignée et recuit au rouge vif; un léger excès de température l'altère, ce qui explique les insuccès préalables aux études poursuivies par l'auteur en 1889.

La détermination des plagioclases en plaques minces est un des problèmes les plus difficiles qui se soient posés aux pétrographes; elle a été résolue de diverses façons dont le point de départ est toujours la connaissance exacte de l'ellipsoïde des indices par rapport aux clivages faciles des feldspaths. Il faut en outre connaître avec précision la composition chimique du plagioclase à l'étude. Dès 1892, Fouqué a courageusement abordé ce problème ardu, en partant des sections perpendiculaires aux bissectrices, mesurant leur signe, l'angle du plan des axes avec les traces des clivages faciles, séparant avec un soin extrême les produits de densités diverses au moyen des liqueurs lourdes, et les analysant enfin par la méthode de Henri Sainte-Claire Deville. Il faut avoir assisté à ce labeur prolongé pour juger des efforts qu'exige le progrès de la Science. Ce travail a paru en 1896; c'est un monument durable et il témoigne tout à la fois de la modestie, de l'incroyable puissance de travail et de la conscience du savant que nous pleurons.

Les derniers travaux de Fouqué ont trait à des analyses en bloc de roches de Santorin et d'Auvergne. Il n'avait pas assez d'estime pour ce mode un peu sommaire d'investigation, et le calcul trop théorique des divers minéraux entre lesquels on peut partager les éléments le laissait sceptique. « A quoi bon, disait-il, s'évertuer à déterminer la composition minéralogique normale d'une roche, quand on possède des moyens sûrs d'apprécier sa composition réelle? » La réponse à cette question doit en réalité tenir compte de ce fait que la composition, en bloc, des roches d'une série déterminée montre un air de famille, une consanguinité, qu'on peut difficilement apprécier d'une autre façon, avec une suffisante délicatesse. A ce point de vue, les analyses de Fouqué, publiées en 1902 et 1903, nous ont donné de précieux points de repère sur la série du Cantal.

Nous avons terminé la revision rapide des principales étapes de la vie scientifique de Fouqué; nous voudrions caractériser en quelques mots son œuvre et en faire ressortir l'importance capitale : Fouqué a été un des rénovateurs de l'étude des phénomènes volcaniques et des produits éruptifs.

1° Il débute en confirmant, complétant et généralisant les données que la science doit à Charles Sainte-Claire Deville sur les émanations volatiles des volcans. Fouqué démontre que les produits des fumerolles sont principalement fonction de leur température, ce qui explique la liaison apparente entre la composition d'une fumerolle, sa place par rapport au centre éruptif, et le temps écoulé depuis le commencement de l'éruption. Elles dérivent donc, les unes des autres, par disparition successive de certains éléments, au fur et à mesure de la baisse de température; et non par apparition successive de produits nouveaux.

On doit à Fouqué la découverte, dans les fumerolles très chaudes, du carbonate de soude, du carbonate d'ammoniaque

et de l'hydrogène libre. Les travaux récents de M. Armand Gautier ont montré l'importance capitale de ce dernier élément, qui donne naissance aux flammes accompagnant les éruptions volcaniques, et que Fouqué a trouvé en abondance à Santorin.

2° L'étude approfondie d'une des grandes éruptions de Santorin démontre avec évidence que la Science a tout intérêt à suivre minutieusement toutes les phases de ces grandioses manifestations de l'activité interne du globe. Tout, dans cette œuvre magistrale, qui a nom *Santorin et ses éruptions*, témoigne de la conscience et de la profonde et inlassable perspicacité de l'observateur; il détruit, chemin faisant, la théorie des cratères de soulèvement, montre le merveilleux parti que l'étude des roches tirera désormais du microscope et des procédés de préparation mécanique; enfin ses nombreuses analyses chimiques des minéraux, des roches et des fumerolles serviront maintes fois de documents à ses successeurs.

3° L'étude des roches de Santorin et du Cantal a été, pour Fouqué, le point de départ de l'application des méthodes microscopiques aux plaques minces. Avant le développement de ces méthodes, il fallait bien reconnaître, avec Cordier, que la Science des roches s'arrêtait à celles dont les éléments sont discernables à la loupe, ou déterminables en poudre grossière sous le microscope.

4° C'est à Fouqué que la Science doit les ingénieuses méthodes de préparation mécanique et de séparation chimique basées sur l'emploi d'un puissant électro-aimant et sur l'attaque, plus ou moins ménagée, à l'acide fluorhydrique. Grâce à ces procédés très pratiques, on peut séparer rigoureusement les éléments acides des éléments ferro-magnésiens, et épurer ceux des minéraux que l'on veut soumettre à une analyse chimique précise. C'est ainsi que Fouqué a préparé

plusieurs des minéraux de Santorin ; nous avons réussi, de la même façon, à isoler le zircon des roches micacées.

C'est aussi du laboratoire du Collège de France qu'est sortie la première étude sur les liqueurs denses et leur emploi comme moyen de préparation mécanique : le maître avait signalé le biiodure de mercure et de potassium [1], comme propre à cet usage, à un de ses préparateurs en quête d'un sujet de thèse (1878).

5° Enfin l'étude, si patiemment prolongée sur le terrain, des roches volcaniques, l'a induit aux expériences synthétiques de reproduction par fusion ignée et recuit prolongé, auxquelles il m'a associé. Les minéraux, que cette méthode a permis de reproduire, sont nombreux : oligoclase, labrador, anorthite, amphigène, néphéline, enstatite, hypersthène, pyroxène, péridot, spinelle, fer oxydulé, fer oligiste, grenat mélanite. Les cinq premiers n'avaient encore été reproduits par aucune autre méthode ; mais elle a eu surtout pour mérite de s'appliquer à la reproduction d'associations complexes, identiques à la plupart des roches éruptives basiques de la nature. Celles-ci se font, comme toutes les roches, en présence de gaz et de vapeurs ; mais l'action minéralisatrice de ces émanations volatiles rétrocède devant la simple influence d'un recuit prolongé, à deux ou trois températures décroissantes, convenablement choisies pour amener la cristallisation successive des silicates naturels : andésites, labradorites, basaltes, leucotéphrites et leucitites, néphélinites, ophites, météorites ont été ainsi fidèlement reproduites dans leurs moindres détails, avec les aplatissements et les allongements favoris de leurs éléments, et la différence de grain entre ceux de première consolidation et les microlites

---

[1] D'après Rosenbusch et Wulfing, 4ᵉ édit., 1904, p. 38, l'idée première appartiendrait à M. E. Sonstadt (*Chemical News*, t. 29, 1874, p. 127-128).

du second temps. Bien plus, certains magmas ont montré que, par fusion ignée, ils produisent de tout autres associations que celles qui pouvaient être prévues; ainsi un mélange par parties égales de mica noir et de microcline s'est transformé en une leucitite à péridot, démontrant la parenté de certains lamprophyres avec les roches d'épanchement à feldspathides.

Fouqué est mort à 76 ans, subitement, dans la matinée du 7 mars 1904. en pleine possession de sa lucide intelligence, entouré de sa famille patriarcale et de la digne compagne de sa noble vie. La veille au soir, il avait causé, avec M. Lacroix, de son dernier cours au Collège de France.

C'était un maître profondément dévoué à ses élèves, un ami incomparable, une âme ferme, droite et fidèle; quand il s'était donné, il ne se reprenait plus; mais son amitié n'était pas banale et il ne la prodiguait pas.

Fouqué a laissé, à tous ceux qui l'ont bien connu et aimé, le souvenir d'un homme de devoir et de conscience, et à plusieurs un sentiment de vide irréparable.

Liste bibliographique des travaux de F.-A. Fouqué (1853-1903) [1].

1853. — Note sur les pertes que les minéraux éprouvent par la chaleur, spécialement en ce qui concerne le fluor (en collaboration avec M. H. Sainte-Claire Deville. (*C. R.*, t. XXXVIII, p. 317.)

---

[1] Cette liste a été dressée par M. P. Gaubert.
C. R. — *Comptes rendus de l'Académie des Sciences.*
B. S. G. — *Bulletin de la Société géologique de France.*
B. S. M. — *Bulletin de la Société française de Minéralogie.*

1857. — Sur la géologie des environs de Mortain (Manche), comprenant la description du granite, des schistes et grès siluriens. (*B. S. G.*, t. XIV, p. 399.)

1858. — Mode particulier d'emploi du thermomètre en Médecine. (*Thèse de doctorat en Médecine.*)

1862. — Analyses des émanations à gaz combustibles de Torre del Greco en 1861 (en collaboration avec MM. Ch. Sainte-Claire Deville et F. Leblanc). (*C. R.*, t. LV, p. 75.)

1865. — Sur l'éruption de l'Etna du 31 janvier 1865 (mission de l'Académie des Sciences). (*C. R.*, t. LX, p. 1185.)

Excursions au sommet de l'Etna et dans le Val del Bove. (*Id.*, p. 1331.)

Sur la non-altération de couches de houille en contact avec des roches éruptives. (*B. S. G.*, t. XXIII, p. 190.)

1866. — Recherches sur les phénomènes chimiques des volcans. (*C. R.*, t. LXII, p. 616.)

Mémoire sur les phénomènes chimiques des volcans. [*Arch. des Missions scientifiques et littéraires*, 2e série, t. III, p. 165-246, 5 planches (*Thèse de doctorat ès Sciences*).]

L'éruption d'une île volcanique. Relation d'un voyage scientifique dans la baie de Santorin. (*Revue scientif.*, t. III, p. 553.)

Sur la nouvelle éruption de Santorin (mission de l'Académie des Sciences). (*C. R.*, t. LXII, p. 896 et 1187.)

Exploration des principaux évents volcaniques de la Grèce. (*Id.*, t. LXII, p. 1121.)

1867. — Les anciens volcans de la Grèce. (*Revue des Deux-Mondes*, 15 janvier 1867.)

Sur les phénomènes volcaniques observés à Terceira (Açores) en 1867 (mission de l'Académie des Sciences). (*C. R.*, t. LXV, p. 674, 965 et 1153.)

Excursions géologiques dans les îles de Terceira, de Fayal, de Pico et de San Miguel (Açores). (*Id.*, p. 968 et 1050.)

Note sur l'état du volcan de Santorin en septembre 1867. (*Arch. des Missions scientifiques et littéraires*, t. II, p. 223.)

Mémoire sur les indices de réfraction des dissolutions salines. (*C. R.*, t. LXIV, p. 666, et *Annales de l'Observatoire*, 1867.)

1868. — Recherches sur la composition de cinq gaz provenant des sources de pétrole de l'Amérique du Nord. (*C. R.*, t. LXVII, p. 1045.)

Étude sur les tremblements de terre de Céphalonie et de Mételin. (*C. R.*, t. LXVI, p. 326 et 681.)

Éruption de Terceira (Açores) (mission de l'Académie des Sciences). (*Id.*, t. LXVI, p. 915.)

Sur la contemporanéité de l'homme avec l'écroulement du centre de l'île de Santorin (*B. S. G.*, t. XXV, p. 597.)

Éruptions sous-marines des Açores (*Revue scientif.*, t. V, p. 179.)

1869. — Étude des gaz à éléments combustibles des Apennins et des lagoni de la Toscane (en collaboration avec M. Gorceix). (*C. R.*, t. LXIX, p. 946.)

1870. — Étude des gaz volcaniques recueillis à Santorin en 1867. (*C. R.*, t. LXXI, p. 902.)

1873. — Voyage géologique aux Açores. (*Revue des Deux-Mondes*, 1er janvier, 1er février, 15 avril 1873.)

Second voyage aux Açores. Résultats de l'analyse des sources geysériennes de l'île de San Miguel. (*C. R.*, t. LXXVI, p. 1361.)

Sur les inclusions vitreuses renfermées dans les feldspaths des laves de Santorin. (*C. R.*, t. LXXVII, p. 1322.)

Étude des eaux minérales geysériennes de San Miguel

(Açores). [*Bibliothèque de l'École des Hautes-Études* (Sciences naturelles), t. VIII, art. n° **2**, 31 p.].

San Jorge des Açores et ses éruptions. (*Revue scientif.*, 2e série, t. II, p. 1198.)

1874. — Détermination des minéraux microscopiques des roches. (*Revue scientif.*, 2e série, t. III, p. 589.)

Les émanations volcaniques. (*Revue scientif.*, 2e série, t. III, p. 861.)

Étude d'une ponce du Vésuve. (*C. R.*, t. LXXIX, p. 869.)

Procédés pour l'extraction des minéraux microscopiques des roches et application aux laves de l'éruption de 1866 à Santorin. (*Mémoires des Savants étrangers*, t. XXII, n° **11**.)

La pétrologie en Allemagne. (*Revue scientif.*, 2e série, t. IV, p. 805.)

1875. — Note sur la wollastonite, la fassaïte et le grenat mélanite des laves de Santorin. (*C. R.*, t. LXXX, p. 631.)

Étude des produits salins de l'éruption de 1866 à Santorin. (*Id.*, t. LXXX, p. 832.)

Étude des nodules à oligoclase des laves de Santorin. (*Id.*, t. LXXXI, p. 220.)

1876. — Les laves des dykes de Théra. (*C. R.*, t. LXXXII, p. 1141.)

Recherches minéralogiques et géologiques sur les laves de l'île de Théra. (*Mém. des Savants étrangers*, t. XXVI, n° **4**.)

Rapport de M. Daubrée sur le Mémoire précédent. (*C. R.*, t. LXXXIII, p. 878.)

Application du microscope à la Céramique (en collaboration avec M. de Cessac). (*C. R.*, t. LXXXIII, p. 1095.)

Étude topographique du cône et des laves de l'éruption de Santorin. (*Ann. Sc. géol*, VII, n° 5.)

Rapport sur une exploration géologique de l'île de Santorin.

[*Bibliothèque de l'École des Hautes-Études* (Section des Sciences naturelles), t. XV.]

Notice nécrologique sur Ch. Sainte-Claire Deville (*B. S. G.*, t. V, p. 389, et *Revue scientif.*, 2e série, t. VI, p. 433.)

1878. — Carte géologique du massif du Cantal au $\frac{1}{10000}$ et Notice explicative. Exposition universelle de 1878. (*Notice du Ministère des Travaux publics*, p. 294.)

Sur quelques faits nouveaux de perlitisme des roches et sur la reproduction artificielle des fissures perlitiques (en collaboration avec M. Michel Lévy). (*C. R.*, t. LXXXVI, p. 771.)

Sur l'hypersthène de la ponce de Santorin. (*B. S. M.*, t. I, p. 46.)

Reproduction des feldspaths par fusion et maintien prolongé à une température voisine de celle de la fusion (en collaboration avec M. Michel Lévy). (*C. R.*, t. LXXXVII, p. 700.)

Reproduction artificielle de feldspaths et d'une roche volcanique complète (labradorite pyroxénique) par voie de fusion ignée et maintien prolongé à une température voisine de la fusion (en collaboration avec M. Michel Lévy). (*Id.*, p. 779.)

Production artificielle de la néphéline et de l'amphigène par voie de fusion ignée et recuit à une température voisine de la fusion (en collaboration avec M. Michel Lévy). (*C. R.*, t. LXXXVII, p. 961.)

1879. — Production artificielle, par voie ignée, des minéraux suivants : oligoclase, labrador, anorthite, néphéline, leucite, grenat, mélanite, pléonaste, fer oxydulé, pyroxène, mélilite (en collaboration avec M. Michel Lévy). (*B. S. M.*, t. II, p. 104.)

Reproduction par voie ignée d'une labradorite et d'une leucitite identiques à certaines roches naturelles (en collaboration avec M. Michel Lévy). (*Id.*, p. 109.)

Production artificielle des inclusions vitreuses à bulle de gaz (cristaux négatifs), au sein des feldspaths, de la néphéline et de la leucite artificiels (en collaboration avec M. Michel Lévy). (*Id.*, p. 110.)

Sur la transformation par voie ignée d'un mélange de wernérite et d'amphibole en labrador et pyroxène et sur la tendance des silicates fondus à reproduire des types naturels connus (en collaboration avec M. Michel Lévy). (*B. S. M.*, t. II, p. 111.)

Minéralogie micrographique (en collaboration avec M. Michel Lévy). (1 vol. in-4 de 509 pages et 1 atlas de 55 planches.) (*Service de la Carte géologique détaillée de la France.*)

Santorin et ses éruptions. (1 vol. in-4 de xxxiii-440 pages et 61 planches.)

Examen microscopique de quelques roches de Majorque et de Minorque (en collaboration avec M. Michel Lévy). (Voir *Thèse inaugurale de M. Hermite.*)

Les applications modernes du microscope à la Géologie. (*Revue des Deux-Mondes*, 15 juillet 1879.)

1880. — Production artificielle de feldspaths à base de baryte, de strontiane et de plomb, correspondant à l'oligoclase, au labrador et à l'anorthite (en collaboration avec M. Michel Lévy). (*C. R.*, t. XC, p. 626.)

Production artificielle d'une leucotéphrite identique aux laves cristallines du Vésuve et de la Somma (en collaboration avec M. Michel Lévy). (*Id.*, p. 698.)

Synthèse d'une leucotéphrite et formes élémentaires des cristaux naissants de leucite et de néphéline (en collaboration avec M. Michel Lévy). (*B. S. M.*, t. III, p. 118.)

Étude des propriétés optiques des feldspaths artificiels de baryte, de strontiane et de plomb (en collaboration avec M. Michel Lévy). (*Id.*, p. 123.)

Note sur les roches accompagnant le diamant dans l'Afrique australe (en collaboration avec M. Michel Lévy). (*Id.*, p. 216.)

1881. — Reproduction artificielle des basaltes (en collaboration avec M. Michel Lévy). (*C. R.*, t. XCII, p. 367.)

Étude optique des feldspaths artificiels de composition intermédiaire entre l'albite et l'anorthite (en collaboration avec M. Michel Lévy). (*B. S. M.*, t. III, p. 63.)

Reproduction artificielle des diabases, dolérites et météorites à structure ophitique (en collaboration avec M. Michel Lévy). (*C. R.*, t. XCII, p. 890.)

Carte géologique au $\frac{1}{80000}$ [feuille de Brioude (Haute-Loire)].

Note sur M. Boricky. (*B. S. M.*, t. IV, p. 50.)

Expériences synthétiques relatives à la reproduction artificielle des météorites (en collaboration avec M. Michel Lévy). (*C. R.*, t. XCIII, p. 674.)

1882. — Synthèse des minéraux et des roches (en collaboration avec M. Michel Lévy). (1 vol. in-8, 424 pages.)

Carte géologique au $\frac{1}{80000}$ [feuille de Saint-Flour (Cantal)].

1883. — Observations sur une Note de M. Gonnard. (*B. S. M.*, t. VI, p. 8.)

Feldspaths tricliniques de Quatre-Ribeira (île de Terceira). (*Id.*, p. 157.)

1885. — Première exploration de la mission chargée de l'étude des récents tremblements de terre de l'Espagne. (*C. R.*, t. C, p. 598.)

Explorations de la mission chargée de l'étude des tremblements de terre de l'Andalousie. (*Id.*, 1049.)

Rapport sur les relations entre les phénomènes présentés par le tremblement de terre de l'Andalousie et la constitution géologique de la région qui en a été le siège. (*Id.*, p. 1113.)

Propagation de la secousse des tremblements de terre du 25 décembre 1884. Rectifications. (*Id.*, p. 1436.)

Conférence sur les volcans. (*Soc. industr. nord France.*)

Carte géologique de France au $\frac{1}{80000}$ [feuille d'Aurillac (Cantal)].

1886. — Notice nécrologique sur le professeur von Lasaulx. (*B. S. M.*, t. IX, p. 29.)

Sur un minéral artificiel. (*Id.*, p. 287.)

Sur un gisement de gneiss à cordiérite. (*Id.*, p. 298.)

Sur les matériaux de construction employés à Pompéi. (*Assoc. fr. pour l'avancement des Sciences, Congrès de Nancy.*)

Mesure de la vitesse de propagation des vibrations dans le sol (en commun avec M. Michel Lévy). (*C. R.*, t. CII, p. 237.)

Sur la roche du monticule de Gamboa, rapportée par M. de Lesseps. (*Id.*, p. 793.)

Sur les roches recueillies dans les sondages opérés par le *Talisman* (en collaboration avec M. Michel Lévy). (*Id.*, t. CII, p. 793.)

Expériences sur la vitesse de propagation des vibrations dans le sol (en collaboration avec M. Michel Lévy). (*Id.*, t. CII, p. 1290.)

Le tremblement de terre de l'Andalousie du 24 décembre 1884. (*Bull. hebd. Assoc. scient. France*, nº **311**, p. 371.)

1887. — Renseignements divers recueillis sur le tremblement de terre du 23 février 1887. (*C. R.*, t. CIV, p. 744.)

Sur les nodules de granulite de Ghistorraï. (*B. S. M.*, t. X, p. 57.)

1888. — Carte géologique au $\frac{1}{80000}$ [feuille de Mauriac (Cantal)].

1889. — Étude d'une météorite de la chute de Beuste. (*B. S. M.*, t. XII, p. 32.)

Sur le bleu égyptien ou vestorien. (*Id.*, p. 36 et *C. R.*, t. CVIII, p. 325.)

Sur une coulée de verre fondu, provenant de la perforation accidentelle d'un fourneau de verrerie. (*C. R.*, t. CIX, p. 5.)

Mission d'Andalousie. Études relatives au tremblement de terre du 25 décembre 1884 et à la constitution géologique du sol ébranlé par les secousses. Expériences sur la vitesse de propagation des secousses dans les sols divers (en collaboration avec M. Michel Lévy). (*Mém. prés. à l'Acad. des Sc.*, t. XXX, n° 2.)

1890. — Revision de quelques minéraux de Santorin. (*B. S. M.*, t. XIII, p. 245.)

Le Plateau central de la France : lu dans la séance publique des cinq Académies le 25 octobre 1890. (*Revue scient.*, t. XLVI, p. 46.)

Note sur les structures des roches éruptives (en collaboration avec M. Michel Lévy). (*Bull. Soc. belg. de Géol.*, t. IV.)

1891. — Notice nécrologique sur Alphonse Favre. (*B. S. M.*, t. XIV, p. 63.)

Notice nécrologique sur Silvestri. (*Id.*, p. 99.)

Reproduction artificielle d'un trachyte micacé (en collaboration avec M. Michel Lévy). (*C. R.*, t. CXIII, p. 289.)

1892. — Sur un mica foncé à axes écartés du Mont-Dore ; modifications qu'il éprouve sous l'action de l'acide chlorhydrique bouillant. (*B. S. M.*, t. XV, p. 196.)

1894. — Contribution à l'étude des feldspaths des roches volcaniques. (*Id.*, p. 283.)

1895. — Remarques relatives à une Communication de M. Kilian sur des observations sismiques faites à Grenoble. (*C. R.*, t. CXX, p. 1436.)

1896. — Sur la valeur relative de quelques-unes des données optiques utilisables pour la détermination spécifique des feldspaths des roches. (*B. S. M.*, t. XVIII, p. 167.)

1900. — Contribution à l'étude des minéraux du groupe de la mélilite. (*B. S. M.*, t. XXIII, p. 10.)

1902. — Les analyses en bloc et leur interprétation. (*Id.*, t. XXV, p. 278.)

1903. — Les analyses en bloc des roches éruptives et leur interprétation. (*Bull. Soc. belg. de Géol.*, t. XVII, p. 81-89.)

Observations faites à la Montagne Pelée sur les conditions présidant à la production de la tridymite dans les roches volcaniques ;

Par M. A. Lacroix.

Tous les minéralogistes sont d'accord pour considérer la production de la tridymite dans les roches volcaniques comme un phénomène secondaire immédiat, mais je ne crois pas que, jusqu'à présent, des observations directes, faites au cours d'une éruption, aient permis de déterminer à quelle période exacte de l'histoire d'une roche se forme ce minéral.

La richesse en silice libre de la lave actuelle de la Montagne Pelée (environ 20 pour 100 dans la roche complète et 37 pour 100 dans son verre) rendait particulièrement opportunes les observations sur ce sujet; voici le résultat de mon étude.

On sait [1] que, dès le début de l'éruption, un dôme d'andésite à hypersthène s'est rapidement édifié dans l'intérieur d'une vieille caldeira; ce dôme était dépourvu d'ouverture béante,

---

[1] A. Lacroix, *La Montagne Pelée et ses éruptions*. Paris, Masson, éditeur, 1904.

permanente, dépourvu de cratère, ses parois s'ouvraient parfois brusquement sous l'influence d'une violente explosion pour donner passage à une nuée ardente, puis aussitôt l'ouverture ainsi produite s'obturait, grâce à un apport de matière fondue se figeant au voisinage de l'extérieur. Au bout de quelques mois, exactement le 4 novembre 1902, du sommet de ce dôme s'est élevée, *par extrusion à l'état solide*, une aiguille de lave, constamment diminuée par des écroulements, mais soulevée néanmoins à une altitude supérieure, grâce à la continuité de la poussée interne, jusqu'au moment où elle s'est complètement écroulée (juillet 1903); il s'en est ensuite élevé une plus petite par le même mécanisme.

J'ai pu montrer que la lave, dont la composition chimique n'a pas subi de modification systématique dans le temps, a fourni, au cours de l'éruption, des *andésites à hypersthène,* présentant d'importantes variations de composition minéralogique; celles-ci n'ont affecté que la pâte, qui seule a subi l'influence des variations des conditions du refroidissement. Les phénocristaux de tous les types sont les mêmes: [plagioclases (andésine à bytownite), hypersthène et accessoirement magnétite, ilménite, olivine, hornblende, augite]; ils sont donc incontestablement d'origine profonde, intratellurique.

Les roches rejetées par les violentes explosions verticales des paroxysmes, par les nuées ardentes paroxysmales et par les petites nuées ardentes se succédant à des intervalles répétés, c'est-à-dire toutes les roches qui ont été refroidies brusquement, possèdent une pâte vitreuse, tantôt continue (obsidiennique), tantôt bulleuse (ponceuse).

Une andésite grise, âpre au toucher, plus ou moins riche en microlites d'hypersthène et de plagioclases acides, abondait au contraire dans les produits de projection des paroxysmes, dans les écroulements tranquilles du dôme, dans les apports des nuées ardentes, surtout quand celles-ci se pro-

duisaient après une période plus ou moins longue de repos. C'est là un type de refroidissement moins rapide que le précédent et qui vraisemblablement constitue la plus grande partie de la carapace du dôme.

Enfin, un dernier type plus cristallin encore est celui dans lequel une grande quantité de petits cristaux bipyramidés de *quartz* vient s'adjoindre aux microlites précités. Ce type, résultant d'une cristallisation effectuée dans la profondeur du dôme, a été rejeté sous forme de blocs solides dans quelques paroxysmes; c'est lui qui, de janvier à avril 1904, a constitué presque exclusivement les matériaux s'éboulant d'une petite aiguille qui montait avec une extrême lenteur.

Je n'insisterai pas sur l'importance théorique de cette constatation de la production du quartz au cours d'une éruption et qui est entièrement nouvelle; je l'ai, en effet, longuement discutée ailleurs; je m'en tiendrai à la question de la tridymite.

D'une façon constante, ce minéral est absent de tous les types vitreux, quel que soit leur mode d'expulsion du dôme, des bombes des paroxysmes aussi bien que des blocs de plusieurs centaines de mètres cubes, dont les nuées ardentes ont parsemé le flanc sud-ouest de la Montagne Pelée.

La tridymite n'existait pas davantage dans les types microlitiques poreux des débuts de l'éruption; ce n'est qu'en décembre 1902 que j'ai commencé à la voir apparaître dans ceux-ci et encore n'était-elle pas abondante, sauf dans quelques-unes de leurs enclaves homœogènes. Au contraire, elle est devenue extraordinairement abondante dans tous les types d'andésite, quartzifère ou non, qui ont été recueillis de janvier à avril 1904 et qui m'ont été obligeamment envoyés par mon ancien collaborateur, le capitaine Perney. Je ne m'occuperai pas des propriétés de cette tridymite, qui sont celles habituelles à ce minéral; les lamelles, minces et trans-

parentes, atteignant 1mm de diamètre, ne se trouvent guère que dans les cavités des enclaves homœogènes qui sont imprégnées par le même minéral.

De ces diverses observations, il faut donc tirer les conclusions suivantes :

1° La tridymite n'est pas due, au moins comme cause générale ([1]), à un simple recuit du verre de l'andésite, puisque parmi des types de cristallinité égale, et par suite consolidés dans les mêmes conditions, recueillis, les uns au début de l'éruption, les autres six mois plus tard et depuis lors, les derniers seuls renferment ce minéral; de plus, celui-ci ne se forme pas seulement dans la pâte, mais encore et surtout dans les cavités de l'andésite.

2° La production de la tridymite est donc postérieure à la consolidation de la roche et résulte essentiellement de l'action des gaz dégagés par le magma sur la pâte, riche en silice libre, de l'andésite; c'est là une démonstration d'une opinion généralement admise sans preuve directe, mais les faits qui viennent d'être exposés montrent en outre que cette action, pour exercer un effet utile, doit être prolongée et qu'elle doit s'effectuer à haute température. Elle doit être prolongée, puisque, comme on l'a vu plus haut, non seulement la tridymite n'existe pas dans les types vitreux brusquement consolidés et rejetés du dôme immédiatement après, mais encore puisqu'elle n'est apparue dans les types ayant subi un recuit que plusieurs mois après le début de l'éruption. Elle s'est effectuée à haute température, puisque l'observation directe a prouvé que les blocs à tridymite étudiés ont été rejetés du dôme à l'état incandescent; c'est là, du reste, un fait qui concorde avec les différentes synthèses de la tri-

([1]) Le recuit d'un verre acide peut donner lieu à la production de tridymite, comme l'ont montré plusieurs des synthèses de MM. Fouqué et Michel Lévy.

dymite qui ont été effectuées jusqu'à présent par divers modes.

A ce dernier point de vue, il sera très intéressant, après l'éruption, de rechercher si la tridymite s'est produite dans les types vitreux et bulleux d'andésite de refroidissement brusque, encore en place dans le dôme, ou si, au contraire, elle n'y existe pas plus que dans ceux qui en ont été expulsés pendant ma période d'observations.

A Saint-Vincent, les cendres et bombes rejetées au cours de l'éruption de 1902-1903 sont, comme celles de la Montagne Pelée, dépourvues de tridymite, mais ce minéral abonde, sous forme de lames blanches opaques (plus épaisses que celles de la Martinique), dans les blocs de lave ancienne rejetés par les grandes explosions. Dans quelques échantillons, j'ai observé en outre de petits octaèdres blancs, opaques, à faces creuses, de *cristobalite*.

Le sulfate de soude des fumerolles secondaires à haute température de la Montagne Pelée;

Par M. A. Lacroix.

L'un des phénomènes les plus importants à tous égards, le seul destructeur de la récente éruption de la Montagne Pelée, a consisté dans la production des nuées ardentes. C'étaient [1] des masses énormes et brûlantes de vapeur d'eau et de gaz, entraînant des matériaux solides de toutes dimensions; elles roulaient sur les pentes de la montagne, toujours dans la même direction, dévastant tout sur leur passage.

---

(1) A. Lacroix, *Op. cit.*

Ces nuées ardentes ont ainsi accumulé sur une surface relativement peu étendue, et dans un temps très court, une quantité énorme de matériaux solides à haute température (il était facile de constater au cours des éruptions produites la nuit que ceux-ci étaient incandescents à leur départ du dôme); c'est ainsi, par exemple, que, de la fin d'octobre au mois de décembre 1902, j'ai vu se combler presque entièrement le ravin supérieur de la haute vallée de la Rivière Blanche, profond de plus de 100^{m}.

Suivant que les matériaux de ces nuées remplissaient le thalweg des vallées ou des ravins ou bien qu'ils comblaient les vallonnements du plateau, incliné vers la mer, séparant la Rivière Blanche de la Rivière Sèche, leur sort a été fort différent. Les pluies tropicales déterminaient sans relâche la production de torrents éphémères qui, tombant dans les ravins au milieu de ces matériaux chauds, y déterminaient de véritables éruptions secondaires, avec explosions et formation d'impétueux courants de boue, dont le pouvoir érosif était considérable.

Celles de ces accumulations de matériaux à haute température qui, par leur position topographique, étaient soustraites en totalité ou en partie à ce mécanisme de destruction ont, au contraire, perdu très lentement leur chaleur en produisant des fumerolles qui, après les pluies, dégageaient parfois une grande quantité de vapeur d'eau. Je me suis attaché à étudier en détail ce genre nouveau de *fumerolles sans racines,* ne se distinguant des fumerolles volcaniques ordinaires sortant des fissures du sol qu'en ce qu'elles ne pouvaient émettre que la quantité restreinte de gaz et de matériaux volatils ou transportables, existant dans la masse de la lave au moment où celle-ci a été expulsée du dôme par les nuées ardentes.

J'ai pu constater ainsi que ces fumerolles dont, bien entendu,

la composition ne variait pas comme dans les fumerolles ordinaires avec leur distance du centre éruptif, étaient au contraire, comme celles-ci, régulièrement ordonnées en fonction de leur température.

Les fumerolles à température voisine de 100° ne laissaient guère dégager que de la vapeur d'eau, avec un peu d'hydrogène sulfuré donnant, par décomposition au voisinage de l'air, des dépôts de soufre, mais celui-ci était très peu abondant comparativement à ce que l'on observe dans les fumerolles volcaniques ordinaires, où la provision d'hydrogène sulfuré est constamment renouvelée par des apports profonds.

Dans l'ancien lit de la vallée de la Rivière Blanche, nous avons retrouvé, en juin et en juillet 1902, s'élevant des conglomérats de la première grande éruption, des fumerolles à température voisine de 400° C. Les produits de sublimation y étaient essentiellement constitués par du *salmiac* et plus extérieurement par du soufre en cristaux $b^{\frac{1}{2}}(111)$ cristallitiques.

Enfin, sous de très gros blocs de lave, apportés sur le morne Lénard par l'éruption du 30 août, j'ai rencontré des fumerolles beaucoup plus chaudes encore, dont les produits font l'objet de cette Note.

Au mois de mars 1903, c'est-à-dire 7 mois après l'éruption qui les avait transportés en ce lieu, il s'en élevait, les jours de pluie, de violentes colonnes de vapeur, alors que par le temps sec on ne voyait s'en échapper qu'une buée bleuâtre à peine distincte. Une baguette d'antimoine, descendue entre les pierres à l'orifice de la fumerolle, à l'aide d'une corde d'amiante, donnait immédiatement des vapeurs blanchâtres, mais une montre fusible à 590° y restait intacte; à 10^{cm} de la surface du sol, la température était donc encore supérieure à 500°, mais inférieure à 600° C.

Au voisinage de ces fumerolles, on ne voyait point ces abondantes concrétions de sulfates, existant à l'orifice des fumerolles sulfhydriques éteintes, qui se trouvaient dans le voisinage; mais, en retournant les pierres de ces fumerolles chaudes, j'ai constaté qu'elles paraissaient comme humides; ce n'était là qu'une illusion, un morceau de papier mis à leur contact prenant feu immédiatement. Un examen plus complet a montré que la partie chaude de ces pierres était en réalité couverte par un enduit cristallin, à éclat vitreux, d'ordinaire incolore, mais parfois teinté en vert clair. Tant que les échantillons restaient à haute température, leur transparence persistait, mais, une fois refroidis, ils devenaient rapidement opalescents.

Avant d'aller plus loin dans leur étude physique, je donnerai quelques indications sur leur composition chimique. Des échantillons en ont été soigneusement recueillis dans de la ouate, puis enfermés dans des flacons bouchés à l'émeri, car, sans cette précaution, l'enduit salin ne tarde pas à se transformer, par exposition à l'air, en une masse pulvérulente légère.

Il ne pouvait être question d'isoler mécaniquement ce sel à cause de la minceur et de l'adhérence à la gangue de l'enduit qu'il constitue. La roche tout entière a donc été traitée par de l'eau distillée qui, après filtration, a été évaporée à sec. Voici les résultats de l'analyse que M. Arsandaux en a faite dans mon laboratoire; les résultats ont été ramenés à 100, déduction faite de l'eau du sel recristallisé, des essais sur le produit naturel ayant montré qu'il était anhydre, ce qui était d'ailleurs évident *a priori* étant données les conditions dans lesquelles il a été recueilli :

SO^3	57,1
Na^2O	26,6
K^2O	6,7
MgO	4,4
CaO	1,9
Al^2O^3	1,9
NaCl	1,4
	100,0

Si l'on cherche à grouper ces éléments, on constate un excès de 2,5 de SO^3 sur la quantité nécessaire pour saturer les bases; il est dû en partie à de l'acide sulfurique libre (le sel possède une réaction nettement acide), mais il est probablement dû aussi en partie à de petites erreurs analytiques, tenant à la faible quantité de matière analysée. Voici les résultats de ce calcul :

SO^4Na^2	60,9
SO^4K^2	12,4
SO^4Ca	4,6
SO^4Mg	13,2
$S^3O^9Al^2$	5,0
NaCl	1,4

Il ne m'a pas été possible de vérifier directement sous quelle forme minéralogique se trouvaient tous ces divers sels, les croûtes cristallines étant trop minces; les propriétés du minéral dominant seules ont pu être étudiées. Il est vraisemblable cependant que les sulfates de chaux et de potasse doivent être combinés avec celui de soude pour former de la *glaubérite* et de l'*aphthithalite*; on peut affirmer, en effet, qu'il n'existe pas d'anhydrite, minéral qu'il eût été facile de reconnaître par ses propriétés optiques; s'il en avait existé d'ailleurs, il ne se fût pas dissous dans l'eau. L'existence d'un sulfate de magnésie anhydre n'est pas connue dans la nature,

mais elle n'a rien d'impossible. Quoi qu'il en soit, la composition minéralogique de ces croûtes est vraisemblablement la suivante :

Thénardite..........	46,1
Aphthithalite........	22,5
Glaubérite..........	9,4
SO^4Mg..............	13,2
Alumian.............	5,1
NaCl................	1,4

J'ai transporté à Fort-de-France les échantillons recueillis et j'ai pu, le soir même, les examiner au microscope; des esquilles, enlevées à des croûtes encore transparentes et montées dans le baume du Canada, se sont montrées monoréfringentes en lumière polarisée parallèle, à peu près uniaxes et optiquement *négatives* en lumière convergente. Elles étaient donc essentiellement constituées par un minéral, régulièrement orienté, avec un axe optique unique ou une bissectrice aiguë avec axes très rapprochés, perpendiculaire à la surface libre. Au bout de quelques jours, ces croûtes sont devenues progressivement blanchâtres et opaques et se sont montrées ce qu'elles sont encore aujourd'hui, c'est-à-dire formées par des lames diversement orientées, à deux axes optiques, très écartés autour d'une bissectrice aiguë, *positive*.

On reconnaît dans cette description deux des formes de sulfate de soude, dont le polymorphisme a été étudié par M. O. Mügge (¹) et par M. Wyrouboff (²).

Notre collègue a montré notamment qu'à partir de 500° ce sel est rigoureusement uniaxe et négatif, tandis qu'un peu au-dessous de cette température, il est orthorhombique, pseudohexagonal; cette seconde forme, analogue à celle du

(¹) *Neues Jahrb.*, t. II, 1884, p. 1.
(²) *Bull. Soc. franç. min.*, t. XIII, 1890, p. 311.

sulfate de potasse, est stable pendant quelque temps à une température moins élevée, puis elle passe à la *thénardite*, la forme la plus stable à la température ordinaire, par l'intermédiaire d'une quatrième forme, peut-être monoclinique.

Mon outillage à la Martinique était trop rudimentaire et mes occupations trop absorbantes, pour qu'il m'ait été possible de poursuivre plus à fond l'étude de cette question. Il est vraisemblable qu'au moment où j'ai retiré les échantillons de la fumerolle, alors qu'ils étaient parfaitement limpides, ils étaient constitués par la forme rigoureusement uniaxe; le léger trouble produit par le refroidissement est peut-être l'indice d'un changement de forme, il n'était pas dû à des fissures, autant du moins que j'ai pu m'en assurer par un examen à la loupe. Les lames que j'ai observées après refroidissement étant très minces et le minéral très peu biréfringent, je ne puis pas affirmer qu'il était rigoureusement uniaxe et il est plus vraisemblable que j'ai eu affaire à la forme orthorhombique qui, d'après M. Wyrouboff, possède un faible écartement des axes ($2E = 34°$).

Quoi qu'il en soit, c'est la première fois qu'on observe dans la nature la production d'une forme de sulfate de soude autre que la thénardite. J'appelle sur cette question l'attention des minéralogistes qui auront dans l'avenir l'occasion de suivre une éruption du Vésuve ou de l'Etna; le sulfate de soude se rencontre en effet parfois assez abondamment dans les produits des fumerolles à haute température de ces deux volcans. A. Scacchi l'a signalé ([1]) (*pyrotechnite*) sur les laves de l'éruption de 1855, mais il n'a étudié que les cristaux obtenus à une température convenable par cristallisation de sa dis-

([1]) *Memoria sullo incendio vesuvian* del 1855, Napoli, 1855, dans son *Cataloguo dei mineralie e delle rocce vesuvian* de 1889 et ne cite plus ce minéral.

solution aqueuse. De même, M. Fouqué a observé ([1]) le même corps dans les bombes de l'éruption de l'Etna en 1866, sans se préoccuper de la forme minéralogique qu'il y constituait.

Quant au mécanisme de la production de ce sulfate de soude, il est probable qu'il faut le chercher dans une réaction sur laquelle M. Fouqué a jadis appelé l'attention ([2]) : l'action, à haute température et en présence de la vapeur d'eau, du chlorure de sodium sur le sulfate de chaux. On ne peut en effet admettre, ni que le sulfate de soude ait existé tout formé dans la lave, ni qu'il provienne de l'attaque de celle-ci par le produit d'oxydation de fumerolles sulfureuses ou sulfhydriques. De nombreuses analyses des cendres de l'éruption actuelle ont montré qu'elles ne contiennent pas de sulfate de soude, mais des proportions souvent notables (pouvant atteindre 0^{g},5 pour 100) de chlorure de sodium et de sulfate de chaux. En ce qui concerne l'action possible de l'acide sulfurique, il est intéressant de comparer l'état absolument intact des roches recueillies à l'orifice de ces fumerolles à haute température à celui des roches provenant des fumerolles à température voisine de 100°; ces dernières roches, en effet, sont presque toujours plus ou moins profondément décomposées, par suite de l'oxydation de l'hydrogène sulfuré, avec production finale d'acide sulfurique, qui n'agit que lorsque la vapeur d'eau commence à se condenser.

Il est donc vraisemblable que la petite quantité de sulfate de soude que j'ai observée résultait d'une réaction secondaire produite à haute température aux dépens des sels contenus dans la cendre et que le sel ainsi formé était entraîné à l'extérieur par la vapeur d'eau. Je puis donner un argu-

---

([1]) *Ann. Missions scientif.*, t. III, 1866, p. 224.
([2]) *Op. cit.*

ment en faveur de cette hypothèse; sur plusieurs échantillons, j'ai recueilli, en effet, au-dessous de la croûte de sulfate de soude, un enduit de petits cristaux d'hématite ; la production de ce minéral implique celle de chlorure de fer, qui est la conséquence de la formation d'acide chlorhydrique, dans la réaction indiquée plus haut.

Sur un cas curieux de cristallisation du chlorure de sodium au cours de l'éruption de la Montagne Pelée ;

Par M. A. Lacroix.

Je viens d'indiquer dans les Notes précédentes que les cendres de la Montagne Pelée renfermaient d'une façon constante une très petite quantité de chlorure de sodium ; celui-ci était entraîné à la mer par les eaux de pluie, et je ne l'ai jamais vu se manifester sous une forme minéralogique, mais j'ai observé un cas de cristallisation de ce minéral dans des conditions très spéciales.

Au nord de la Rivière Blanche, les grandes nuées du mois de mai 1902 avaient remblayé la petite vallée, désignée sous le nom de *Fonds Canonville,* et recouvert l'emplacement du village de Sainte-Philomène. En juin et en juillet, ces matériaux qui, par places, avaient plusieurs mètres d'épaisseur, étaient encore très chauds ; après les pluies, il s'en élevait des vapeurs. Le long des ruisselets, se creusant un lit avec rapidité au milieu de ces apports, il se produisait de petites éruptions à facies geysérien, qui édifiaient d'éphémères cônes de projection, très réguliers, dont j'ai donné plusieurs photographies dans mon livre sur *la Montagne Pelée*.

A mon arrivée à la Martinique, ces matériaux se termi-

naient, sur le bord de la mer, en falaises d'environ 2m de hauteur, taillées à pic et battues par la haute mer. Leur base était constituée par le vieux sol, que surmontaient les matériaux récents. La partie inférieure de ces apports présentait sur 25cm environ une constitution toute spéciale ; ils débutaient par une couche d'une dizaine de centimètres d'épaisseur (reposant sur le vieux sol), dont les éléments, lapillis et cendres, étaient colorés en jaune ou en rouge vif ; cette couche, peu cohérente et toujours humide, possédait une température inférieure à 100° mais en moyenne assez élevée, tandis que la zone qui la séparait de la partie superficielle du conglomérat normal avait une température d'au moins 115° à quelques centimètres de la surface et s'accroissant notablement à une plus grande distance de celle-ci ; j'ai constaté, en effet, une température superficielle (à 5cm de la surface) de 210° C. à 50m de la côte.

Cette couche plus chaude, au lieu d'être incohérente, comme l'étaient normalement les apports récents, était résistante et ne pouvait être démolie qu'à coups de marteau. Elle était cimentée par du chlorure de sodium transparent, s'isolant, dans toutes les cavités, en cubes à faces planes. Les parties refroidies ou à peu près refroidies renfermaient, en outre, quelques aiguilles de gypse.

L'origine de ce chlorure de sodium n'est pas douteuse ; il résultait de l'évaporation, très rapide grâce à la haute température des cendres et des lapillis, de l'eau de mer venant battre le pied de la falaise, dans laquelle elle montait par capillarité.

La zone rouge inférieure était, elle aussi, imprégnée de chlorure de sodium. Sa couleur était due à la décomposition de la petite quantité de chlorure de fer résultant de l'attaque de la roche par un peu d'acide chlorhydrique fourni par la dissociation du chlorure de magnésium de l'eau de mer, au contact des lapillis à haute température ; cette zone en

voie de refroidissement était continuellement humidifiée et désagrégée par les embruns.

Ce conglomérat se prolongeait à quelques décimètres du rivage. Au mois d'octobre, il avait disparu; le refroidissement complet des matériaux récents avait supprimé la cause de la production du sel et celui qui s'était formé antérieurement avait été dissous par les pluies tropicales.

Matériaux sur les météorites pierreuses;

Par M. A. Lacroix.

1. *Identité de composition des météorites de Pillistfer* (1863) *et de Hvittis* (1901).

Ayant récemment trouvé dans une vieille collection quelques grammes de la météorite de Pillistfer, j'en ai transformé une partie en lames minces afin d'en étudier la structure; j'ai été frappé de l'identité que présente cette météorite avec celle tombée à Hvittis, en Finlande, le 21 octobre 1901 et dont mon ami M. Sederholm, directeur du Service géologique de ce pays, avait bien voulu, peu auparavant, m'envoyer un fragment, en même temps que l'intéressante description qu'en a donnée M. Léon.-H. Borgström [1]. L'authenticité de l'échantillon de Pillistfer que j'ai examiné a été établie par comparaison avec celui de la collection du Muséum que mon collègue M. Stan. Meunier a eu l'amabilité de me communiquer et par un fragment que m'a remis M. de Mauroy qui le tient de l'Université de Dorpat, où est conservé l'échantillon principal de cette chute.

---

(1) *Die Meteoriten von Hvittis und Marjalahti* (*Bull. Com. géol. Finlande*, n° 14, 1903).

Le 8 août 1863 plusieurs pierres sont tombées dans les environs de Pillistfer, en Livonie (à Aucoma, Kurla, Wahhe, Sawiank); les circonstances de la chute et la composition chimique des échantillons recueillis ont fait l'objet d'un Mémoire de Greewingk et C. Schmidt (1). G. Rose (2) a examiné cette météorite et l'a placée dans le premier groupe de ses *Chondrites*, en faisant remarquer sa complète analogie avec celle d'Erxleben et de Klein-Wenden. Cette analogie a été admise par tous les auteurs qui l'ont suivi; cette météorite est, en effet, classée par M. Stan. Meunier (3) dans ses *erxlébénites* et par M. Brezina (4) comme *Kristallinischer Chondrit*.

En réalité, si, par son aspect extérieur, par sa structure, cette météorite est bien identique à celles qui constituent le groupe précité des classifications françaises et allemandes, elle s'en distingue cependant par un caractère minéralogique important, l'absence du péridot. Dans la classification Tschermak-Brezina, la définition d'une *Kristallinischer Chondrit* est purement structurelle, mais, en réalité, toutes les météorites qui y sont comprises sont péridotiques. Quant au type erxlébénite, il est essentiellement caractérisé par l'association du péridot à un pyroxène rhombique; aussi, M. Borgström, en montrant que la météorite de Hvittis ne renferme, en fait de silicate magnésien, que de l'enstatite, a-t-il, à juste titre, insisté sur ce que, dans la classification allemande, il y aurait lieu maintenant d'établir pour elle une subdivision mi-

---

(1) *Archiv für die Naturkunde Liv-, Ehst- und Kurland's*, 1re série, t. III, p. 421-556.

(2) *Mon. Berich. Berlin. Akad.*, 1863, p. 441.

(3) Stan. Meunier, *Cosmos* (1870) et *Les Météorites* (*Encyclop. chim. Frémy*, 1885).

(4) Brezina, *Meteoritensamml. Wien Jahrb. k. k. geol. Reichsanstalt*, t. XXXV, 1885, p. 150-276, et les catalogues publiés depuis lors.

néralogique, qu'il appelle *Kristallinischer Enstatit-Chondrit* [1], et que, de même, dans la classification minéralogique de M. Stan. Meunier, un nouveau type devrait être admis à côté de l'erxlébénite, sous le nom de *hvittisite*.

Je me propose dans cette Note de montrer qu'à tous égards, la composition de la météorite de Pillistfer est, dans ses moindres détails, identique à celle mise en lumière par le savant finlandais pour la météorite de Hvittis. Il est curieux de constater que ces deux météorites, seules jusqu'à présent à former un groupe à part, sont tombées, à 38 ans de distance, presque dans la même région.

L'examen d'une lame mince de la météorite de Pillistfer montre que près des trois quarts de la roche sont constitués par des minéraux transparents, de biréfringence très voisine, l'enstatite et un plagioclase; le reste de la roche est surtout formé par des minéraux métalliques, opaques (fer nickelé, troïlite, une petite quantité de schreibersite); enfin, il existe un peu d'*oldhamite*. L'analyse chimique qui sera donnée plus loin met en outre en évidence une petite quantité de chromite et de graphite que je n'ai pu voir dans mes plaques minces.

L'enstatite forme des plages xénomorphes ou des prismes allongés suivant l'axe vertical et possédant des propriétés normales de ce minéral; c'est un type très pauvre en fer, ainsi que le montre le faible écartement des axes optiques ($2E = 40°$) autour de la bissectrice aiguë, *positive*.

Le plagioclase apparaît en creux dans les interstices de l'enstatite; quand on y trouve des macles de l'albite, on constate

---

(1) Cette conclusion a été acceptée par M. Brezina dans un récent travail [The arrangement of collections of meteorites (*Proceed. amer. Philosoph. Soc.*, t. XLIII, 1904, n° 176, p. 211)], mais il donne au groupe la dénomination, qui ne peut être admise, de *Cristalline Enstatite-Anorthite-Chondrite*, le feldspath étant, comme on va le voir plus loin, de l'oligoclase.

qu'elles sont très fines; l'extinction maximum dans la zone de symétrie ne dépasse pas 4°; c'est donc un oligoclase acide.

Ce feldspath, de même que l'enstatite, est extrêmement riche en inclusions gazeuses et en inclusions vitreuses à bulle, présentant souvent la forme de cristaux négatifs; elles sont généralement alors géométriquement orientées sur leur hôte, surtout dans l'enstatite.

L'*oldhamite* (CaS) forme des grains xénomorphes, d'un jaune-rosé, à clivages cubiques nets; ils sont très réfringents et monoréfringents; j'ai comparé ce minéral à celui de la météorite de Bustee, dont j'ai pu examiner quelques plaques minces, grâce à l'obligeance de M. Fletcher, météorite dans laquelle ce rare minéral a été découvert; il n'en diffère que par un détail sans importance : sa couleur est un peu moins rose. N'ayant pas une quantité de matière suffisante pour tenter une séparation mécanique, qui ne serait probablement pas très difficile à exécuter si l'on opérait sur un nombre suffisant de grammes de la météorite, je me suis contenté de faire quelques essais qualitatifs pour donner une confirmation chimique à mon diagnostic, bien qu'elle ne soit guère nécessaire. Ce qui me restait de cette météorite a été réduit en poudre très fine, débarrassé du fer nickelé par un aimant, puis traité par une grande quantité d'eau. Il n'est pas possible d'obtenir par ce procédé les réactions des sulfures, car la solution est trop diluée (le sulfure de calcium cristallisé se dissout dans 500 parties d'eau avec formation de chaux caustique) et le polysulfure dissous s'oxyde au cours de la concentration; mais, si l'on place la poudre fine sur une lame d'argent en présence d'un peu d'eau, il se produit au bout de quelques heures un enduit noir de sulfure. Par évaporation de la solution on obtient des aiguilles de gypse; la réaction microchimique de la chaux s'obtient plus nettement encore si l'on ajoute à la liqueur un peu de sulfate d'am-

moniaque, qui transforme en sulfate la chaux non combinée existant dans la solution.

En terminant, il me faut signaler quelques grains d'un minéral ayant la réfringence et la biréfringence du sphène; je n'ai pu en trouver qu'une section oblique sur la bissectrice; l'angle des axes est plus grand que dans ce dernier minéral et la bissectrice y est de signe contraire, elle est négative. Je ne sais à quelle espèce il faut le rapporter.

La cristallisation a débuté par l'enstatite qui est moulée par le feldspath et par l'oldhamite; les grenailles métalliques sont plus récentes.

Je n'ai pas trouvé de chondres, mais le fragment étudié était si petit que je n'insiste pas sur ce fait. Je noterai l'absence complète de ces actions mécaniques qui, dans la plupart des météorites, ont laissé leur trace sous forme de structure cataclastique.

Cette description est remarquablement analogue à celle donnée par M. Borgström pour la météorite de Hvittis, et, en comparant les plaques des échantillons des deux chutes, je n'y vois pas de différences appréciables. Dans cette dernière météorite, le plagioclase a pu être extrait; il se rapporte à l'oligoclase Ab_4An. L'un des traits de ressemblance remarquable de ces météorites consiste dans l'existence de l'*oldhamite;* ce rare minéral, inconnu dans les roches terrestres, n'avait jusqu'à présent été trouvé que dans les météorites (*bustite*) de Bustee et des Aubres et dans celles (*chladnite*) de Bishopville. Il est intéressant, en outre, de noter que j'ai retrouvé dans la pierre de Hvittis le même minéral inconnu dont il a été parlé plus haut à l'occasion de celle de Pillistfer, mais il y est tout aussi rare et son étude ne m'a pas fourni de lumière nouvelle.

Les ressemblances minéralogiques qui viennent d'être exposées ne sont pas seulement qualitatives, mais encore

quantitatives. Les résultats des analyses de M. Borgström pour la pierre de Hvittis, de celle de Pillistfer par Greewingk et Schmidt que je donne ci-contre présentent entre elles des différences relativement faibles :

	Hvittis.	Pillistfer.
Fe	24,66	25,667
Ni	1,96	1,878
Co	0,07	traces
S	3,30	3,492
P	0,08	0,013
SiO^2	41,53	38,593
Al^2O^3	1,55	2,511
Cr^2O^3	0,57	0,487
FeO	0,34	1,519
MnO	»	0,018
MgO	23,23	23,666
CaO	1,41	0,480
Na^2O	1,26	0,341
K^2O	0,32	0,240
	100,28	100,000 (1)

Ces analyses ont été interprétées minéralogiquement par leurs auteurs de la façon suivante :

			Hvittis.		Pillistfer.
Sulfures.	Oldhamite	0,86	8,74		9,381
	Daubréelite	0,57			
	Troïlite	7,31			
	Fer nickelé	21,50	22,00		21,669
	Schreibersite	0,50			
	Chromite		0,32		0,713
Silicates.	Feldspath	9,86	68,87	6,987	68,112
	Enstatite	59,01		56,170	
				4,965 [péridot]	

On voit que Greewingk et Schmidt ont admis, dans l'interprétation de leurs résultats, l'existence d'environ 5 pour 100

(1) Y compris 0,115 de graphite, de SnO^2 et de perte.

de péridot et ils se sont basés pour cela sur la composition de silicates attaquables par les acides: le calcul de leurs résultats bruts conduit à peu près à la même conclusion. On a vu cependant plus haut que l'étude minéralogique ne décèle pas trace de péridot dans cette météorite; il est vraisemblable que dans leur attaque par l'acide chlorhydrique ces auteurs ont dissous une petite quantité de fer métallique, inclus dans les silicates en particules trop fines pour avoir pu être enlevées par l'aimant et que, d'autre part, ils ont dissous un peu d'enstatite; on sait, en effet, que les acides exercent sur l'enstatite finement pulvérisée une action qui est loin d'être négligeable ([1]).

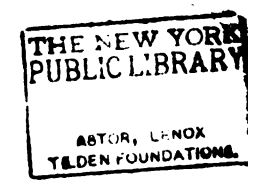
Les mêmes auteurs ont discuté la nature du feldspath, mis en évidence par leur analyse, et ils ont admis qu'il est constitué par 6,8 pour 100 d'anorthite et 1,2 de labrador. L'étude optique ne laisse pas de doute sur l'attribution du feldspath de cette météorite à un type acide; la chaux dissoute dans les acides et attribuée à l'anorthite est fournie par l'oldhamite et il est probable que l'alumine en excès entre dans la constitution de l'enstatite.

Il m'a paru intéressant de signaler ces différentes questions à l'attention des minéralogistes ayant à leur disposition une quantité de cette météorite de Pillistfer suffisante pour permettre d'en entreprendre une étude plus complète.

([1]) Cohen, *Meteoritenkunde*, t. I, 1894, p. 282. D'après M. Maskelyne, la proportion de l'enstatite de la météorite de Bustee, décomposée par HCl étendu de son volume d'eau, est de 7,78 pour 100 après 16 heures de digestion, de 9,41 à 12,68 (dans deux expériences distinctes) après 20 heures; M. Cohen signale d'autres observations du même ordre.

Le Secrétaire gérant :
Maurice BLONDEL.

36297 Paris. — Imp. Gauthier-Villars, 55, quai des Grands-Augustins.



BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE.

Année 1905. — Bulletin n° 3.

Compte rendu de la séance du 9 mars 1905.

Présidence de M. Fred. Wallerant.

M. Termier présente de la part de M. G. Friedel un Mémoire sur : « Les bases expérimentales de l'hypothèse réticulaire ».

Notice sur A. Damour;

Par M. A. Lacroix.

Le 22 septembre 1902, s'est éteint, à l'âge de 94 ans, l'un des fondateurs de notre Société, son doyen, A. Damour, qui fut son troisième président (1880), le second de ses membres honoraires français (1889) et qui, pendant 20 ans, a été mêlé à sa vie de la façon la plus intime.

Quel est celui de nous qui n'a encore présente à l'esprit l'image de ce vieillard à la physionomie si fine, à la démarche

pleine de distinction, apportant dans nos réunions et nos discussions une bienveillance égale pour tous et une courtoisie parfaite, qui rappelait les habitudes un peu cérémonieuses du vieux temps!

Damour était un passionné de notre Science. Il aimait les minéraux, non seulement pour les recherches qu'ils lui permettaient de faire, mais il les aimait aussi pour eux. Sa collection était une partie de lui-même; depuis sa jeunesse, il collectionnait; à 93 ans, il achetait encore des minéraux et, alors comme par le passé, rien ne lui était plus agréable que de recevoir quelque échantillon nouveau ou rare. Accueillant pour tous les travailleurs et en particulier pour les jeunes gens, il leur ouvrait volontiers sa porte et c'était un plaisir partagé que de passer en revue, avec lui, quelques-uns de ses tiroirs, remplis d'échantillons, rendus plus précieux encore par les observations personnelles, consignées d'une écriture fine et régulière sur chaque étiquette.

La Minéralogie a rempli sa vie et elle l'a remplie jusqu'au bout. Lorsque à la fin de mai 1902, Damour apprit que j'étais envoyé en mission à la Martinique, avant que j'aie eu le temps d'aller prendre congé de lui, il m'envoya une lettre d'introduction pour des parents de son fils qui habitait à la Guadeloupe, en même temps que des renseignements sur la Soufrière, jadis visitée par lui. A ma rentrée en France, quelques mois plus tard, je fus le voir. Il était mourant; l'un de ses fils voulut bien cependant m'introduire dans sa chambre; il lui dit mon nom, mit ma main dans la sienne. Le vieillard avait les yeux fermés, son visage émacié resta impassible; j'allais me retirer, quand ses lèvres s'agitèrent et nous l'entendîmes dire d'une voix à peine perceptible: « Avez-vous trouvé des cristaux de soufre à la Soufrière? », puis ce fut tout.

Nous avons été témoins de l'amitié touchante qui a uni

Damour et un autre de nos grands disparus, Des Cloizeaux; cette amitié ne datait pas de la veille; elle avait pris naissance vers 1840 chez A. Brongniart; elle n'a été obscurcie par aucun nuage et elle n'a été rompue que par la mort en 1897. Elle s'est manifestée par quelques Notes publiées en commun, mais la collaboration des deux amis s'est effectuée surtout d'une façon plus étendue et plus discrète. Damour n'était pas cristallographe et Des Cloizeaux n'était guère chimiste; ils se consultaient continuellement, se complétant merveilleusement l'un l'autre, pour le plus grand bien de leurs mutuels travaux. A plusieurs reprises, j'ai entendu Damour dire à Des Cloizeaux qu'il comptait sur lui, tôt ou tard, pour faire le rappel de son œuvre scientifique; bien que plus jeune de près de 10 ans, Des Cloizeaux nous a quittés le premier; j'ai tenu à remplir dans ce *Bulletin* les engagements de mon maître.

Alexis Damour est né à Paris le 19 juillet 1808. Embrassant la même carrière que son père, il entra en 1827 au Ministère des Affaires Etrangères dans le bureau du chiffre, dont il devait plus tard devenir le chef, avec rang de sous-directeur; il prit sa retraite en 1853. A partir de cette époque, la Minéralogie, qui jusqu'alors avait occupé tous ses loisirs, devint la principale de ses occupations. Depuis longtemps universellement connu dans le monde minéralogique, il fut élu en 1862 correspondant de l'Institut, puis membre libre en 1878. Membre d'un grand nombre d'associations scientifiques françaises et étrangères, il a présidé en 1857 la Société géologique de France, où se réunissaient les minéralogistes de Paris, avant la création de notre Société, qu'il devait présider 23 ans plus tard.

Le goût de la Minéralogie fut donné à Damour par le cours d'A. Brongniart qu'il suivit au Muséum au début de sa carrière administrative; Brongniart lui témoigna une bienveillance particulière et le mit en relations avec Delafosse et

Dufrénoy. Il fut lié d'amitié avec les principaux minéralogistes, géologues et chimistes de son temps et en particulier avec Henri Sainte-Claire Deville, en collaboration duquel il publia plusieurs Notes. Il était le dernier survivant de ceux qui ont entretenu des relations scientifiques avec les contemporains d'Haüy ([1]).

Damour a fourni l'exemple trop rare d'un homme, indépendant par sa situation de fortune, consacrant la plus grande partie de son existence à la science pure, travaillant d'une façon solitaire, avec ses propres ressources, en dehors de toute attache universitaire et arrivant à une haute situation scientifique. Il a vécu ainsi une très longue vie, tranquille et heureuse, partagée entre sa science et sa famille, entouré jusqu'à la dernière heure par ses fils et belle-fille et leurs enfants, parmi lesquels s'en trouve un, qu'il a eu la joie de diriger dans les études chimiques qu'il aimait tant.

Son unique installation scientifique a toujours consisté en deux pièces exiguës, situées au dernier étage de la maison qu'il habitait dans le quartier de la Madeleine; c'est là qu'on était assuré de le rencontrer chaque matin au milieu de ses minéraux, à condition de le visiter de fort bonne heure. Une petite cuisine lui servait de laboratoire, une chambre voisine renfermait ses collections. Son œuvre considérable est là pour montrer qu'un laboratoire perfectionné n'est pas toujours indispensable pour faire de la bonne besogne.

L'œuvre de Damour est remarquablement unie; il s'est consacré entièrement et exclusivement à l'analyse chimique des minéraux, ne faisant que quelques rares incursions dans

([1]) Les archives de ma chaire renferment, régulièrement tenus et sans interruption depuis 1793 (date de l'organisation, sous sa forme actuelle, du Muséum d'histoire naturelle), les registres que signent les auditeurs du cours de Minéralogie; le nom de Damour s'y trouve à l'année 1827; Brongniart avait succédé à Haüy cinq ans auparavant.

le domaine de la Chimie pure et encore y a-t-il été conduit par ses analyses de minéraux; je veux parler des Notes qu'il a publiées sur la réunion au niobum du dianum, soi-disant corps simple, trouvé dans la niobite (en collaboration avec H. Sainte-Claire Deville), sur celle du donarium (provenant de l'orangite) au thorium.

Damour était un analyste extrêmement habile et des plus consciencieux; ses analyses ont résisté pour la plupart à l'épreuve du temps.

Dans son troisième Mémoire, datant de 1840, il démontra que le plomb-gomme est un phosphate d'alumine et de plomb et non un aluminate de plomb, comme on le croyait alors, sur la foi d'une analyse de Berzélius. Il racontait volontiers, et non sans quelque fierté, que l'illustre chimiste suédois, auquel il avait envoyé son travail de début, en s'excusant d'avoir osé contredire une si haute autorité, lui avait répondu par une lettre d'encouragement des plus flatteuses. L'estime des minéralogistes pour l'habileté de Damour, surtout dans les cas d'analyses difficiles, avait d'ailleurs dépassé nos frontières. C'est ainsi que vom Rath s'adressa à lui pour l'analyse de la kentrolite et de la trippkéite, que Websky lui fournit les éléments de celle de la rhodizite et de la jeremeiewite.

Damour a décrit un très grand nombre d'espèces minérales nouvelles, soit seul (*roméine, faujasite, dufrénoysite, alluaudite, brongniardite, descloizite, titanolivine, hydroapatite, jadéite, chloromélanite, callaïs, jacobsite, érythrozincite, goyazite, jereméiewite, venasquite*), soit en collaboration avec divers savants; il se chargeait toujours alors de la partie chimique; — avec Des Cloizeaux (*ottrélite, chalcoménite, picroépidote*), avec vom Rath (*kentrolite, trippkéite*), — avec M. E. Bertrand (*zincaluminite*), — avec Arzruni (*utahite*). Il faut ajouter à cette liste le vanadate, dont il a fait, le premier, l'ana-

lyse en 1837 et qui, en 1854, a reçu de Fischer et Nessler le nom d'*eusynchite*.

Les analyses d'un certain nombre de minéraux lui ont permis d'établir l'identité chimique de substances, considérées jusqu'alors comme constituant des espèces distinctes; c'est ainsi qu'il a montré l'identité de la *marceline* et de la *braunite*, de la *melilite* et de la *humboldtilite*, du *néoctèse* et de la *scorodite*, de la *morvénite* et de l'*harmotome*, du *jade* et de la *trémolite*, de l'*orangite* et de la *thorite*, de l'*eudyalite* et de l'*eucolite*, de la *vietinghoffite* et de la *samarskite*; cette démonstration chimique, pour celles de ces espèces qui sont cristallisées, a été appuyée par l'étude cristallographique ou optique faite par Des Cloizeaux. De même, Damour a montré que la *prédazzite* est un mélange de calcaire et de brucite et non un minéral, que la *cymophane* est un aluminate et non un silicate, que l'*anatase* et le *rutile* ont exactement la même composition chimique.

Ses analyses ont permis pour la première fois d'établir la formule rigoureuse d'espèces rares ou mal connues à ce point de vue (*gehlenite*, *ouwarowite*, *andalousite*, *euclase*, *lévyne*, *christianite*, *huréaulite*, *parisite*, *homilite*, *cabrérite*, *hopéite*, *vénasquite*, *iodyrite*, *rhodizite*, *dumortiérite*, *bertrandite*, etc.) ou ont confirmé celle admise pour beaucoup d'autres espèces déjà solidement établies.

Damour a entrepris aussi quelques travaux, peu nombreux il est vrai, sur des groupes de minéraux; le premier, il a mis en relief cette curieuse propriété que possèdent les *zéolites* de perdre, puis de reprendre une partie de leur eau, suivant les variations de température. En collaboration avec Des Cloizeaux, il a étudié l'incandescence que présentent les minéraux à terres rares (orthite, gadolinite, etc.) quand on les chauffe au chalumeau. Il a fait connaître en outre les divers minéraux qui, au Brésil, constituent le cortège du diamant.

Les pétrographes lui doivent les premières notions précises sur la composition minéralogique de la *lherzolite*, jusqu'alors considérée comme une substance homogène ; il en a extrait du péridot, du diopside chromifère, de l'enstatite et un nouveau type de spinelle auquel a été donné le nom de picotite. Il a analysé les météorites de Montrejeau et de Chassigny et enfin le fer nickelé de Sainte-Catherine.

Les échantillons d'eaux rapportés par Des Cloizeaux de ses deux voyages aux geysers d'Islande ont fourni à Damour matière à un important travail, dans lequel il a établi la composition de silicates solubles qu'elles contiennent et étudié, à l'aide de quelques expériences, le mécanisme de la production de ceux-ci, par l'action de l'eau à haute température sur des silicates renfermant des alcalis.

Ses observations sur la Soufrière de la Guadeloupe (1860) paraissent être les seules qu'il ait faites en dehors de son laboratoire.

En terminant, il me reste à signaler une catégorie de travaux qui a occupé Damour pendant près de 40 ans; il s'agit de la détermination des minéraux et des roches utilisés par les peuplades préhistoriques pour la fabrication de leurs armes et par les peuples de l'Extrême Orient pour la confection de ces objets d'art qui font l'ornement de nos musées. Il avait réuni une collection d'objets en jade, en jadéite, etc. incomparable, aussi bien au point de vue artistique qu'au point de vue minéralogique; elle a été malheureusement dispersée à sa mort, ainsi que ses autres collections. C'est elle qui lui a permis de fixer la composition chimique et la densité (1) de

(1) Cette question de la densité des minéraux intéressait beaucoup Damour, qui a fait à ce sujet un nombre incalculable de déterminations; il a publié celles concernant le zircon. Pendant de longues années, il a complété et perfectionné les tables de densité publiées par l'*Annuaire du Bureau des Longitudes*. Un grand nombre des densités adoptées par Des Cloizeaux, dans son *Manuel de Minéralogie*, ont été vérifiées par lui.

toutes ces matières intéressantes ou précieuses, dont quelques-unes font depuis si longtemps, au point de vue de leur origine, le sujet des discussions des archéologues, discussions auxquelles il a souvent pris part; c'est par l'étude de cette collection qu'il a pu établir les caractères distinctifs du *jade*, variété de trémolite ou d'actinote, ceux de la *jadéite*, riche en soude, que nous savons aujourd'hui être un pyroxène, et de la *chloromélanite*, qui en est une variété ferrifère.

Cette brève énumération des travaux de Damour, résultat d'un labeur ininterrompu de 57 ans (sa première Note date de 1837, sa dernière de 1894), suffit à expliquer le respect et l'estime que lui accordaient tous les minéralogistes et la place importante qu'il a tenue pendant si longtemps parmi nous. Cette place, il la devait d'ailleurs, non seulement à sa science, mais encore à la noblesse de son caractère et à sa vie de travail, consacrée tout entière au culte passionné et désintéressé de la Science.

Liste des travaux de A. Damour [1].

Notices et analyses sur le plomb vanadiaté zincifère, nouvelle espèce minérale. (*A. M.*, t. XI, 1837, p. 161.)

---

[1] Cette liste est la reproduction (complétée au point de vue des indications bibliographiques par M. Gaubert) de celle que Damour a rédigée lui-même et publiée en 1893 chez Gauthier-Villars.

C. R. — *Comptes rendus de l'Académie des Sciences.*
A. M. — *Annales des Mines.*
A. C. P. — *Annales de Chimie et de Physique.*
B. S. G. — *Bulletin de la Société géologique.*
B. S. M. — *Bulletin de la Société minéralogique.*
A. S. A. L. — *Annales de la Société d'agriculture de Lyon.*
B. S. P. — *Bulletin de la Société philomathique.*

Notice sur le zinc sulfuré cadmifère de la mine de la Nuissière, près Beaujeu (Rhône). (*A. M.*, t. XII, 1837, p. 241.)

Nouvelles analyses du plomb-gomme. (*A. M.*, t. XVII, 1840, p. 191.)

Notice sur quelques amalgames. (*A. M.*, t. XV, 1839, p. 45.)

Essais sur l'opale et sur plusieurs quartz résinites. (*A. M.*, t. XVII, 1840, p. 202.)

Notice et analyses sur la roméine, nouvelle espèce minérale. (*C. R.*, t. XIII, 1841, p. 476 et *A. M.*, t. XX, 1841, p. 247.)

Analyses de la marceline. Réunion de cette substance à la braunite. (*A. M.*, t. I, 1842, p. 400.)

Notice et analyse sur la faujasite, nouvelle espèce minérale. (*A. M.*, t. I, 1842, p. 394.)

Suite aux mêmes recherches. (*A. M.*, t. XIV, 1848, p. 67.)

Notice et analyses sur l'ottrélite. (*A. M.*, t. II, 1842.)

Analyse de la mélilite et l'humboldtilite. Réunion de ces substances en une seule espèce. (*A. C. P.*, t. X, 1844, p. 59.)

Analyse de la gehlénite de Fassa en Tyrol. (*A. C. P.*, t. X, p. 66.)

Notice et analyses sur l'ouwarowite. (*A. M.*, t. IV, 1843, p. 115.)

Analyse de la périclase, ou magnésie native cristallisée. (*A. M.*, 1843 et *B. S. G.*, t. VI, 1849, p. 311 et 315.)

Nouvelles analyses de l'hypersthène du Labrador. (*A. M.*, t. V, 1844, p. 157.)

Analyse de la cymophane de Haddam. (*A. C. P.*, t. VII, 1843, p. 173.)

Notice et analyse sur la pierre de savon du Maroc, employée dans les bains maures en Algérie. (*A. C. P.*, t. VIII, 1843, p. 316.)

Analyse et examen comparatif de l'anatase et du rutile. (*A. C. P.*, t. X, 1844, p. 414.)

Analyse du néoctèse et de la scorodite. (*A. C. P.*, t. X, 1844, p. 406.)

Analyses et essais chimiques sur la dioptase. (*A. C. P.*, t. X.)

Notice et analyses sur une obsidienne explosive. (*C. R.*, t. XVIII, 1844, p. 4.) (*B. S. A. L.*, 1847.)

Analyses de quatre espèces d'arséniates de cuivre naturels. (*C. R.*, t. XX, 1845, et *A. C. P.*, t. XIII, 1845.)

Notice sur la dufrénoysite ou sulfo-arséniure de plomb, nouvelle espèce minérale. (*A. C. P.*, t. XIV, 1845.)

Analyses de la herschélite. Réunion de cette substance à l'hydrolithe. (*A. C. P.*, t. XIV, 1845, p. 97.)

Essais chimiques et analyses sur le diaspore de Sibérie. (*C. R.*, t. XXI, 1845, p. 322.)

Notice et analyses sur le lévyne d'Islande. (*A. M.*, t. IX, p. 333, 1846.)

Analyses sur la christianite d'Islande. (*A. M.*, t. IX, 1846.)

Examen comparatif et analyses de la morvénite et de l'harmotome. Réunion de ces substances en une seule espèce.

Analyse sur la heulandite. (*C. R.*, t. XXII, 1846, p. 926 et *A. M.*, t. X, 1847, p. 207.)

Examen et analyses du jade oriental. Réunion de cette

substance à la trémolite. (*C. R.*, t. XXI, 1845, p. 1382 et *A. C. P.*, t. XVI, 1846, p. 469.)

Notice et analyses sur l'halloysite de Montmorillon. (*A. C. P.*, t. XXI, 1847, p. 376.)

Notice et analyses sur la composition de l'eau de plusieurs sources silicifères de l'Islande. (*C. R.*, t. XXIV, 1847, p. 182 et *A. C. P.*, t. XIX, 1847, p. 470.)

Notice et analyse sur un bisilicate de magnésie et de protoxyde de fer. (*A. S. A. L.*, 1847.)

Examen et analyse de la predazzite. (*B. S. G.*, t. IV, 1847, p. 1050.)

Examen et analyses de l'hydrocarbonate de magnésie de Predazzo. (*B. S. G.*, t. IV, 1847.)

Notice sur la découverte du tantalite dans le département de la Haute-Vienne. Description et analyse de cette matière minérale. (*C. R.*, t. XXV, 1847, p. 673 et *A. M.*, t. XIII, 1848, p. 341.)

Notice et analyse sur l'alluaudite, ou phosphate de fer, de manganèse et de soude, nouvelle espèce minérale. (*C. R.*, t. XXV, 1847, p. 670 et *A. M.*, t. XIII, 1848, p. 341.)

Notice et analyse sur un wolfram tantalifère du département de la Haute-Vienne. (*B. S. G.*, t. V, 1847, p. 106.)

Notice et analyse sur la baiérine du département de la Haute-Vienne. (*C. R.*, t. XXVIII, 1849, p. 353 et *A. M.*, t. XIV, 1848, p. 423.)

Notice sur l'incrustation siliceuse des geysers d'Islande et sur divers hydrates de silice naturels. (*B. S. G.*, t. V, 1848, p. 157.)

Notice et analyse sur un hydrosilicate de zircone du département de la Haute-Vienne. (*A. C. P.*, t. XXIV, 1848, p. 87.)

Notice sur l'arkansite. (*A. M.*, t. XV, 1849, p. 106.)

Notice sur le fer carbonaté irisé de la Voulte (Ardèche). (*A. S. A. L.*, 1849.)

Analyse de la saphirine du Groenland. (*B. S. G.*, t. VI, 1849, p. 311 et 315.)

Analyse de plusieurs feldspaths et de roches volcaniques de l'Islande. (*B. S. G.*, t. VII, 1850, p. 83.)

Notice et analyses sur un kaolin provenant de la décomposition du béryl. (*B. S. G.*, t. VII, 1850, p. 224.)

Notice sur la brongniardite, nouvelle espèce minérale. (*A. M.*, t. XVI, 1849, p. 227.)

Note sur la composition des millépores et quelques corallinées. (*A. C. P.*, t. XXXII, 1851, p. 362.)

Examen chimique de deux roches feldspathiques de l'île d'Elbe. (*A. S. A. L.*, 1851.)

Recherches chimiques sur un nouvel oxyde extrait d'un minéral trouvé en Norvège. Examen et analyses de l'orangite. Réunion de cette substance minérale à la thorite. (*C. R.*, t. XXXII, 1852, p. 685 et *A. M.*, t. I, 1852, p. 587.)

Recherches sur la composition des sables diamantifères de la Chapada de Baya, au Brésil. (*B. S. P.*, t. VI, 1853, p. 14.)

Note sur la composition de l'andalousite. (*A. M.*, t. IV, 1853, p. 53.)

Note sur l'argent iodé du Chili. (*A. M.*, t. IV, 1853, p. 329.)

Notice sur la descloisite, nouvelle espèce minérale. (*A. C. P.*, t. XLI, p. 72.)

Analyse sur l'huréaulite. (*A. M.*, t. V, 1854, p. 1.)

Notice sur la pérowskite de Zermatt. (*A. M.*, t. VI, 1854, p. 512.)

Nouvelles recherches sur la composition de l'euclase. (*C. R.*, t. XL, 1855, p. 942 et *A. M.*, t. VIII, 1855, p. 79.)

Note sur un péridot titanifère trouvé en Tyrol. (*A. M.*, t. VIII, 1855, p. 90.)

Nouvelles recherches sur la composition des sables diamantifères de Bahia et de diverses localités du Brésil. (*B. S. G.*, t. XIII, 1856, p. 542.)

Note sur le sous-acétate de lanthane iodé. (*C. R.*, t. XLIII, 1856, p. 976.)

Note sur le grenat mélanite de Frascati et sur un grenat vert de la vallée de Zermatt. (*B. S. P.*, t. V, 1856, p. 60 et *J. I.*, 1856.)

Notice sur l'eudyalite du Groenland et sur l'eucolite de Norvège. Réunion de ces deux substances en une seule espèce. (*C. R.*, t. XLIII, 1856, p. 1197 et *A. M.*, t. X, 1856, p. 579.)

Notice sur l'hydroapatite, nouvelle espèce minérale. (*A. M.*, t. X, 1856, p. 65.)

Recherches sur les propriétés hygroscopiques des minéraux de la famille des zéolithes. (*C. R.*, t. XLIV, 1857, p. 975 et *A. C. P.*, t. LIII, p. 438.)

Examen de divers échantillons de sables aurifères et platinifères de la province d'Antioquia. (*A. C. P.*, t. LI, 1857, p. 445.)

Recherches sur le dosage de l'acide phosphorique. (*B. S. P.*, t. V, 1858, p. 15 et *J. I.*, 1858.)

Recherches chimiques et analyses sur l'aérolithe de Montréjeau. (*C. R.*, t. XLIX, 1859, p. 31.)

Analyse de la cronstedtite, espèce minérale. (*A. C. P.*, t. LVIII, p. 99.)

Examen des propriétés optiques et pyrogénétiques des minéraux réunis sous les noms de gadolinite, allanite, orthite, euxénite, tyrite, yttrotantalite et fergusonite (en collaboration avec Des Cloizeaux). (*A. C. P.*, t. LIX, p. 357.)

Observations recueillies dans une traversée d'Europe aux Antilles. Observations faites à la montagne de la Soufrière (Guadeloupe). (*C. R.*, t. LI, 1861, p. 559.)

Note sur la présence du platine et de l'étain métallique dans les terrains aurifères de la Guyane française. (*C. R.*, t. LI, 1861, p. 688.)

Note sur la gmélinite de l'île de Chypre. (*B. S. G.*, t. XVI, 1859, p. 678.)

Sur la nature des columbites et sur le dianium (en collaboration avec M. Sainte-Claire-Deville). (*C. R.*, t. LIII, 1861, p. 1044.)

Analyse de quelques minéraux de la famille des wernérites. (*B. S. P.*, t. VI, 1861, p. 144 et *J. I.*, 1862.)

Examen minéralogique d'une roche désignée sous le nom de *lherzolite*. (*B. S. G.*, t. XIX, 1862, p. 413.)

Note sur la tscheffkinite du Coromandel. (*B. S. G.*, t. XIX, 1862, p. 550.)

Note sur la pierre météorique de Chasssigny. (*C. R.*, t. LV, 1862, p. 591.)

Notice et analyses sur le jade vert (jadéite), nouvelle espèce minérale (*C. R.*, t. LVI, 1863, p. 861.)

Note sur la densité des zircons. (*C. R.*, t. LVIII, 1864, p. 154.)

Nouvelle analyse de la parisite. (*C. R.*, t. LIX, 1864, p. 270.)

Sur la callais, nouveau phosphate d'alumine hydraté, recueilli dans un tombeau celtique du Morbihan. (*C. R.*, t. LIX, 1864, p. 270.)

Sur un hydrate d'alumine ferrugineux trouvé dans l'île d'Egine (Grèce). (*B. S. G.*, t. XXII, 1863, p. 413.)

Sur la composition des haches en pierre trouvées dans les monuments celtiques et chez les tribus sauvages. (*C. R.*, t. LXI, 1865, p. 313 et 357.)

Sur une hache en pierre de l'île d'Oualan (Océanie). (*B. S. G.*, t. XXIII, 1866, p. 551.)

Sur la composition des haches en pierre, etc. (2[e] mémoire). (*C. R.*, t. LXIII, 1866, p. 1038.)

Sur un alliage de cuivre, d'argent et d'or fabriqué par les anciens peuples de l'Amérique du Sud. (*C. R.*, t. LXIV, 1867, p. 100.)

Sur un arséniate de zinc trouvé au cap Garonne (département du Var). (*C. R.*, t. LXVII, 1868, p. 1124.)

Notice sur la jacobsite, nouvelle espèce minérale. (*C. R.*, t. LXIX, 1869, p. 168.)

Note sur une idocrase d'Arendal, en Norvège. (*C. R.*, t. LXXIII, 1871, p. 1040.)

Analyse d'un grenat du Mexique. (*C. R.*, t. LXXIII, 1871, p. 1041.)

Sur la cause qui détermine la tuméfaction de l'obsidienne à une température élevée. (*C. R.*, t. LXXVI, 1873, p. 1158.)

Sur un albâtre calcaire provenant du Mexique et connu sous le nom d'*onyx de Tecali*. (*C. R.*, t. LXXXII, 1876, p. 1085.)

Sur la composition d'une roche existant en filon dans la baie de Roguédas (Morbihan). (*B. S. a. N.*, 1876.)

Sur un fer métallique trouvé à Santa Catarina, au Brésil. (*C. R.*, t. LXXXIV, 1877, p. 478.)

Note sur la composition de quelques haches en pierre recueillies en Anatolie par M. Arthur Martin. (*R. a.*, 1877.)

Notice et analyse sur la vietinghoffite. Réunion de cette substance à la samarskite. (*B. Ac. St-Pétersbourg*, t. X.).

Note sur la forme cristalline, les propriétés optiques et la composition chimique de la homilite. (*A. C. P.*, t. XII, 1878.)

Analyse de la garniérite, nouveau minerai de nickel. (*B. S. M.*, 1878.)

Sur la freyalite. (*B. S. M.*, t. I, 1878, p. 33.)

Notice sur la distribution géographique des haches et autres objets préhistoriques en jade néphrite et en jadéite. (*R. a.*, 1878.)

Note de la cabrérite de Laurium. (*B. S. M.*, t. I, 1878, p. 75.)

Note sur le spinelle zincifère (gahnite) du Brésil. (*B. S. M.*, t. I, 1878, p. 93.)

Sur l'aerinite. (*B. S. M.*, t. I, 1878, p. 126.)

Sur le péridot titanifère (titan-olivine) de Zermatt en Valais. (*B. S. M.*, t. II, 1879, p. 15.)

Essais chimiques sur la hopéite (phosphate de zinc). (*B. S. M.*, t. II, 1879, p. 131.)

Sur la vénasquite. (*B. S. M.*, t. II, 1879, p. 167.)

Essais et analyses sur la garniérite (silicate de nickel et de magnésie). (*B. S. M.*, t. I, 1878, p. 28.)

Sur le grenat chromifère du Pic Poset (Pyrénées). (*B. S. M.*, t. II, 1879, p. 165 et 183.)

Sur la pseudomorphose artificielle du gypse, de l'anhydrite et de la célestine. (*B. S. M.*, t. III, 1880, p. 155.)

Sur l'érythrozincite (sulfure de zinc et de manganèse), nouvelle espèce minérale. (*B. S. M.*, t. III, 1880, p. 156.)

Sur la kentrolite, nouvelle espèce. (*B. S. M.*, t. III, 1880, p. 113.)

Sur la trippkéite, nouvelle espèce. (*B. S. M.*, t. III, 1880, p. 175.)

Sur la dumortiérite, nouvelle espèce. (*B. S. M.*, t. IV, 1881, p. 6.)

Sur la chalcoménite, nouvelle espèce. (*B. S. M.*, t. IV, 1881, p. 51 et 164.)

Sur la zinc-aluminite, nouvelle espèce. (*B. S. M.*, t. IV, 1881, p. 136.)

Nouvelles analyses sur la jadéite et sur quelques roches sodifères. (*B. S. M.*, t. IV, 1881, p. 157.)

Analyse d'un mica vert, chromifère. (*B. S. M.*, t. IV, 1882, p. 97.)

Sur le grenat syrien enchâssé dans les bijoux de l'époque mérovingienne. (*R. a.*, 1882.)

Note sur la rhodizite. (*B. S. M.*, t. V, 1882, p. 98.)

Note sur un borate cristallisé (jérémeiéwite), nouvelle espèce. (*C. R.*, 1883 et *B. S. M.*, t. VI, 1883, p. 20.)

Sur une épidote à base de magnésie. (*B. S. M.*, t. VI, 1883, p. 23.)

Note sur les silex du terrain tertiaire de Thenay (Loir-et-Cher). (*R. a.*, 1882.)

Analyse d'un arsénio-phosphate de plomb calcifère trouvé à Villevieille (Puy-de-Dôme). (*B. S. M.*, t. VI, 1883, p. 84.)

Note et analyses sur un nouveau minéral des environs de Nantes (bertrandite). (*B. S. M.*, t. VI, 1883, p. 252.)

Note sur un feldspath triclinique des terrains volcaniques du département de l'Ardèche. (*B. S. M.*, t. VI, 1883, p. 287.)

Note sur certains silex magnésiens et sur la magnésite. (*B. S. M.*, t. VII, 1884, p. 66.)

Analyse de l'utahite, nouveau minéral. (*B. S. M.*, t. VII, 1884, p. 128.)

Note sur un nouveau phosphate d'alumine et de chaux (goyasite) des terrains diamantifères. (*B. S. M.*, t. VII, 1884, p. 204.)

Essais chimiques et analyses sur la ménilite (silex magnésien). (*B. S. M.*, t. VII, 1884, p. 239.)

Note sur un sel ammoniac iodifère. (*B. S. M.*, t. VII, 1884, p. 347.)

Analyse d'une argile des environs de Nantes. (*B. S. M.*, t. VIII, 1885, p. 305.)

Remarques sur la composition de la herdérite. (*B. S. M.*, t. VIII, 1885, p. 3.)

Note sur un béryl provenant de Madagascar. (*B. S. M.*, t. IX, 1886, p. 153.)

Note sur l'emploi des iodures alcalins dans l'analyse de quelques matières minérales. (*B. S. M.*, t. XVI, 1892.)

Nouveaux essais sur la chlorомélanite. (*B. S. M.*, t. XVI, 1893, p. 57.)

Nouveaux essais et analyses sur la florite. (*B. S. M.*, t. XVII, 1894. p. 151.)

Sur les bases expérimentales de l'hypothèse réticulaire;

Par M. Georges Friedel.

En s'attaquant aux problèmes que soulève l'étude de la symétrie cristalline, les mathématiciens ont rendu à la cristallographie de très grands services. Grâce à Bravais et à Schœnflies, pour ne citer que ceux dont les noms marquent les deux étapes principales de cette belle suite de recherches, nous savons aujourd'hui de la manière la plus complète entre quelles limites exactes, étant admise l'hypothèse fondamentale de la structure périodique des cristaux, sont astreintes à se mouvoir les hypothèses supplémentaires qui pourront se montrer utiles dans l'avenir pour relier entre eux les faits nouveaux. Mais il faut bien reconnaître aussi que l'intervention de certaines méthodes mathématiques dans une science d'observation a eu pour effet d'obscurcir les fondements expérimentaux de cette science et de les mélanger avec les

hypothèses d'une manière regrettable. A tel point que, pour qui tient à faire la part des faits d'observation et de leurs conséquences logiques d'une part, et d'autre part des hypothèses, et parmi celles-ci à distinguer celles qui sont indifférentes de celles qui ajoutent quelque chose aux faits observés, il est devenu difficile de s'y reconnaître. Les résultats dus aux mathématiciens, ceux de Schœnflies notamment qui sont les plus complets, restent acquis. Mais il y a grand intérêt pour le physicien à bien comprendre d'où ils sont tirés. C'est ce que nous allons essayer de dégager.

Il y a deux manières d'appliquer le raisonnement mathématique aux faits observés par la physique. L'une consiste à adopter *a priori* une hypothèse ou un certain nombre d'hypothèses sur les faits inaccessibles à l'observation directe, notamment sur la structure intime de la matière. Puis, raisonnant sur ces hypothèses, à en extraire explicitement toutes les conséquences logiques qu'elles contiennent implicitement. On se tient pour satisfait si ces conséquences sont toutes d'accord avec les faits connus.

Une telle méthode synthétique peut conduire à un édifice théorique parfaitement cohérent et satisfaisant. Mais elle a deux défauts capitaux. En premier lieu, elle est extrêmement favorable à cette illusion que les mathématiques puissent de rien tirer quelque chose. Il est bien évident que les hypothèses fondamentales ou celles que l'on introduit ensuite plus ou moins explicitement dans le raisonnement n'ont été imaginées que parce qu'elles contiennent implicitement tous les faits auxquels on veut parvenir. En sorte que ces faits, présentés en dernier lieu, comme une conséquence, une vérification et un couronnement de la théorie, sont en réalité à sa base. Mais bien que l'on puisse affirmer en toute certitude que ces faits ont été introduits quelque part dans les hypothèses, faute de quoi les mathématiques seraient impuissantes

à les en faire sortir, il n'est pas toujours aisé de voir par où ils se sont glissés. Souvent les hypothèses fondamentales sont si simples, si *presque* évidentes, que l'on est étonné d'en voir sortir tant de conséquences conformes à l'observation, et que l'on est tenté d'attribuer au raisonnement mathématique on ne sait quel pouvoir créateur. Il faut ajouter que les esprits qui se plaisent à ce genre de théories ont souvent pour ainsi dire honte des faits d'observation. Ils les dissimulent volontiers sous les hypothèses qui, dans leur forme, les laissent le moins apercevoir *a priori*, et pensent ajouter quelque chose de glorieux et de merveilleux à la science en lui donnant le faux air de deviner, par de simples raisonnements logiques, ce qu'elle a en réalité péniblement acquis par l'expérimentation.

D'autre part, en dissimulant ainsi les faits sous des hypothèses pour les y retrouver ensuite, cette méthode conduit à une connaissance imparfaite des choses. Elle va exactement à rebours de l'ordre naturel dans lequel nous acquérons nos connaissances. Nous disposons d'un ensemble de faits observés. Pour les réunir entre eux, nous imaginons un groupe d'hypothèses choisi de façon qu'il nous semble devoir contenir tous ces faits comme conséquences logiques. Nous montrons, par le développement de raisonnements déductifs, qu'il les contient en effet. Que conclure de là? Que l'hypothèse était suffisante. Mais n'y en a-t-il pas d'autres également suffisantes? S'il en est, quelles conditions doivent-elles remplir? Parmi les hypothèses admises, quelle était celle qui était occasionnée par tel fait d'observation, quelle par tel autre? A ces questions, la méthode synthétique ne peut répondre. Les suppositions qu'elle fait, elle ne se préoccupe pas de montrer si elles sont nécessaires ou non, et dans quelle mesure, mais seulement de prouver qu'elles sont suffisantes. Quant à connaître, dans la mesure où nous pouvons connaître, c'est-à-

dire quant à *réduire le nombre des hypothèses possibles*, elle ne saurait nous y conduire. Mélangeant d'abord systématiquement les faits en un groupe d'hypothèses qui les dissimulent, elle ne peut mettre dans nos connaissances l'ordre nécessaire. Son principe même est de mêler, non de classer.

L'autre méthode, que l'on peut appeler analytique bien qu'en réalité elle fasse la part de la synthèse, consiste à accepter ouvertement comme base les faits d'observation. *A tirer alors de chacun d'eux, par la voie du raisonnement, sans faire d'abord aucune hypothèse, toutes les conséquences logiques que l'on y peut trouver*, et par là à bien discerner ceux qui sont réellement distincts. Cela, qui est essentiel, étant fait, il pourra se trouver que tout un groupe de faits observés se réduise à un seul. Toute hypothèse imaginable pour les relier entre eux sera ainsi démontrée oiseuse. Il pourra se faire aussi que plusieurs restent indépendants. Dans ce cas, il sera intéressant de chercher une hypothèse qui les relie. Mais d'une part on sera certain de n'en pas faire d'inutiles, d'autre part on sera en possession des conditions précises auxquelles, s'il y a plusieurs hypothèses possibles, celles-ci doivent satisfaire. On saura exactement à la conjonction de quels faits est destinée telle hypothèse et comment, si tel fait nouveau est reconnu, elle devra être modifiée. En un mot, on aura resserré autour de l'inconnu le domaine des suppositions permises. Bien classer les faits, discerner ceux qui sont distincts, et ne faire d'hypothèses qu'*ensuite* et dans la mesure où elles sont utiles pour grouper des faits distincts, tel est en somme le principe de cette méthode. C'est, je crois, la vraie méthode des sciences physiques. Il va de soi, d'ailleurs, que le raisonnement mathématique n'y joue pas un rôle moindre que dans la première. Il perd seulement son faux air créateur.

I. *Définition de la matière cristallisée.* — La première chose

à se demander, quand on veut essayer de dégager les faits de la cristallographie, c'est ce que l'on entend par substance cristallisée. Tout le monde a plus ou moins nettement la notion d'une différence capitale entre deux états de la matière, l'état cristallin et l'état amorphe. Mais dans la définition de la limite qui les sépare, les faits ont été, par la faute de la méthode synthétique, tellement enchevêtrés avec les hypothèses imaginées pour en rendre compte que cette définition est posée généralement de la manière la plus défectueuse.

Tout le monde est d'accord sur ce point que l'une des propriétés essentielles des cristaux est l'*anisotropie*. Les propriétés vectorielles de la matière cristallisée, ou toujours au moins certaines d'entre elles, varient avec la direction. Mais ce caractère ne saurait en aucune façon distinguer le cristal de la matière amorphe. Car personne ne songe à attribuer l'état cristallin à un verre lorsque, par exemple sous l'action d'une compression anisotrope ou de la trempe, il devient anisotrope. Personne ne qualifie de cristal un cheveu ou un fil de coton. Et pourtant ces substances sont anisotropes aussi. L'anisotropie n'est donc pas particulière aux cristaux. Elle en est une propriété constante, mais qui leur est commune avec une foule de substances amorphes.

Une autre propriété que l'on invoque toujours pour définir l'état cristallin est l'*homogénéité*. Cependant l'homogénéité ne peut pas davantage servir de définition à l'état cristallin. Telle qu'on la conçoit habituellement, elle peut s'exprimer ainsi : rien ne nous permet, avec nos moyens d'observation actuels, de distinguer *dans un cristal* deux points dont les propriétés scalaires ou vectorielles soient différentes. Or considérons une prehnite crêtée, une stilbite en gerbe, un de ces quartz tordus naturels des Alpes dans lesquels l'axe ternaire s'enroule d'une manière continue autour d'un des axes binaires, ou encore une lame de mica ou de talc pliée par

action mécanique. Personne ne songe à refuser à ces substances l'état cristallin. Et cependant elles ne sont pas homogènes. Lors donc que nous disons qu'une telle substance est cristalline et qu'un cristal est homogène, nous entendons qu'il faut, de cette substance, considérer une portion assez petite, selon les cas, pour qu'elle soit pratiquement homogène. Cette portion, nous l'appelons un *cristal*. L'homogénéité peut faire défaut à une masse entière continue sans que celle-ci cesse d'être cristalline. Elle ne peut du tout servir à définir l'*état cristallin*, mais à définir *le cristal*, l'individu cristallin, ce qui est tout différent. Nous avons parfaitement le droit de ne considérer comme un cristal unique que toute portion de matière cristalline qui est homogène (pratiquement homogène). Et toute l'étude des cristaux nous conduit à juger profitable cette définition de l'individu cristallin. Mais en toute rigueur elle n'est applicable à aucune masse cristalline continue de quelque étendue. Les masses que nous concevons comme le type le plus parfait de l'état cristallin approchent, il est vrai, de cette homogénéité idéale, et c'est ce qui rend intéressante et utile la définition du cristal. Mais beaucoup d'autres ne la possèdent nullement. Et alors, pour y retrouver l'homogénéité, nous devons les diviser par convention en fractions pratiquement homogènes que nous appelons des cristaux distincts.

Ainsi un cristal est bien par définition une masse homogène. Mais une masse cristalline n'est pas en général homogène dans son ensemble; pour y distinguer des cristaux homogènes il faut parfois la diviser en éléments très petits; et lorsque les propriétés varient d'un point à l'autre d'une manière continue, cette division est parfaitement arbitraire.

Y a-t-il là quelque chose qui diffère de ce qui s'observe dans la matière amorphe? Evidemment non. Dans l'étude de la matière amorphe, nous pouvons être conduits souvent à divi-

ser celle-ci en parties pratiquement homogènes et à ne considérer comme une individualité que chacune de ces parties homogènes. Mais tout comme une masse cristalline une masse amorphe peut être hétérogène ou parfaitement homogène. Il n'y a rien là qui permette de distinguer nettement l'état cristallin de l'état amorphe.

Lors donc que l'on définit le cristal un corps solide anisotrope et homogène, on donne bien là une définition, insuffisante d'ailleurs, de l'individu cristallin, mais nullement de l'état cristallin. La définition correcte serait : le cristal est un corps solide cristallin et homogène. Elle ne dit rien sur ce que l'on appelle un corps solide cristallin. L'homogénéité n'est donc nullement une propriété distinctive de la matière cristallisée.

Il est bien vrai qu'il est assez difficile de réaliser un corps amorphe qui soit, en même temps qu'anisotrope, homogène dans toute sa masse. Il est vrai aussi que cela est remarquablement plus aisé pour un corps cristallisé. Mais il n'y a là qu'une différence de degré, certainement incapable de supporter la distinction essentielle que nous concevons entre l'état cristallin et l'état amorphe. Outre qu'il est aisé, sinon de réaliser, du moins de concevoir un corps amorphe qui soit anisotrope et homogène dans toute son étendue, la matière cristallisée elle aussi ne réalise pas toujours l'homogénéité de cette façon. Dès lors, elle ne diffère en rien par là d'un corps solide amorphe et anisotrope tel que le verre comprimé. En comprimant, par exemple, une lame mince de verre sur ses deux faces on peut réaliser, dans toute sa partie centrale, une matière amorphe anisotrope et homogène aussi étendue qu'on le veut.

On peut donc accorder que la matière cristallisée, qui est toujours anisotrope, se dispose volontiers en masses remarquablement homogènes, que l'on appelle chacune un cristal.

Mais les masses cristallines peuvent, sans cesser d'être cristallines, être très hétérogènes. De son côté, la matière amorphe peut être parfaitement homogène aussi, et le plus souvent dans ce cas elle est sensiblement isotrope. Elle peut aussi être anisotrope, et généralement alors elle est peu homogène. Mais, tout comme dans la matière cristalline, il est permis d'en considérer isolément une portion assez petite pour être homogène, et de lui donner un nom, X. Cet X est l'équivalent, dans la matière amorphe, de ce qu'on appelle un cristal dans la matière cristallisée. Il est anisotrope et homogène : et pourtant ce n'est pas un cristal.

Les théories qui prétendent baser la structure réticulaire sur les seules notions d'anisotropie et d'homogénéité, pour en déduire ensuite une foule d'autres propriétés des cristaux telles que l'existence des faces planes, la loi des troncatures rationnelles, les modes de symétrie, ces théories sont donc certainement illusoires. Elles introduisent quelque part implicitement ces propriétés dont elles croient démontrer la nécessité comme conséquence logique de l'anisotropie et de l'homogénéité. Car il est manifeste que ces propriétés n'en résultent nullement. Si elles devaient s'en déduire, il serait impossible de ne pas les trouver dans un fragment homogène de verre comprimé. On ne pourrait se refuser à accorder à celui-ci la même structure réticulaire qu'aux cristaux. Il est donc hors de doute que l'anisotropie et l'homogénéité n'exigent pas la structure réticulaire. Elles sont aussi bien compatibles avec une distribution de la matière qui ne soit nullement périodique, mais seulement *en moyenne* la même dans chaque direction et différente pour les différentes directions, comme on l'admet pour les corps amorphes anisotropes.

Il n'est que juste de faire observer que cette insuffisance de la base n'est pas à reprocher aux grands esprits tels que Bravais, Mallard, Schœnflies, qui ont mis en œuvre la méthode

synthétique. Pour être purement synthétique, celle-ci devrait définir le cristal *un corps qui possède la structure réticulaire*, et chercher ensuite les conséquences de cette définition arbitraire. C'est bien ce qu'elle fait en réalité, mais en accordant à la méthode analytique cette concession d'introduire ouvertement dès le début *une* des propriétés expérimentales, l'anisotropie, à titre de justification partielle et incomplète de l'hypothèse.

Nous n'avons jusqu'ici reconnu à la matière cristalline qu'une propriété générale, mais non caractéristique, l'anisotropie; et une autre non générale ni caractéristique, mais néanmoins remarquable. C'est qu'il existe fréquement des *cristaux*, c'est-à-dire des masses de matière cristalline homogènes d'une certaine dimension, souvent même isolées et homogènes, ou sensiblement homogènes, dans toute leur étendue. Pour distinguer la matière cristalline de la matière amorphe, il faut tirer de l'observation d'autres caractères.

Les propriétés scalaires (non susceptibles de direction) des cristaux ne diffèrent pas de celles de la matière amorphe. Il n'en est pas de même des propriétés vectorielles. Celles-ci peuvent se diviser en deux groupes bien distincts :

Les premières varient avec la direction d'une manière continue. Nous les appellerons par abréviation les *propriétés continues*. Telles sont les propriétés relatives à la transmission de la lumière, de la chaleur, de l'électricité, etc. Ce sont elles qu'il est de mode d'appeler par excellence les propriétés physiques de la matière cristalline.

Les autres varient avec la direction d'une manière discontinue. Nous les appellerons les *propriétés discontinues*. On peut en citer, pour le moment, de quatre sortes. L'une consiste dans ce fait que la matière cristalline, lorsqu'elle s'accroît librement, se limite fréquemment par des faces planes ou à peu près planes. Ces faces, quand elles sont bien planes, ce qui n'est d'ailleurs pas nécessaire ni constant, mais seule-

ment fréquent, font entre elles et avec tous les vecteurs qui définissent les propriétés continues des angles constants. C'est là une propriété essentiellement discontinue, car, si une direction de face appartient à un cristal, les directions voisines ne jouissent pas de la même propriété à un degré voisin. Les autres propriétés discontinues sont le clivage, le glissement et la macle. Elles se traduisent aussi par l'existence de plans et droites jouissant de propriétés dont les plans et droites voisins ne jouissent à aucun degré voisin. C'est à ces propriétés discontinues, surtout la première, que l'on donne, très improprement, le nom de *propriétés géométriques* de la matière cristalline. Ce sont au premier chef des propriétés physiques tout comme les premières.

La matière amorphe ne possède que des propriétés vectorielles continues. Par ces propriétés, lorsqu'elle est anisotrope, elle ne se distingue pas essentiellement de la matière cristallisée. Une portion homogène d'un verre comprimé, d'une fibre animale ou végétale, par exemple, a toutes les propriétés optiques d'un cristal uniaxe ou biaxe.

Par contre, les propriétés discontinues sont totalement absentes de la matière amorphe, toujours présentes dans la matière cristallisée. Ce sont elles, par conséquent, et elles seules, qui peuvent servir à définir d'une manière précise la limite entre les deux états.

Une substance cristalline peut n'avoir aucune face plane. Elle a généralement alors des clivages, ce qui est aussi caractéristique. N'a-t-elle ni faces, ni clivages, ni plans de glissement, ni plans ou axes de macle, *on n'a plus alors aucun moyen de la distinguer de la matière amorphe*. Si une substance anisotrope qui a habituellement des faces planes et qui est dépourvue de clivages, macles et glissements, se présente accidentellement sous la forme d'un fragment dépourvu de faces, on juge qu'elle est cristalline uniquement par analogie

avec les autres exemplaires connus, dont toutes les propriétés chimiques ou physiques, scalaires ou vectorielles continues, sont les mêmes. Mais, si une substance se présentait toujours sous la forme de fragments sans formes planes ni clivages, ni en général propriétés discontinues, on serait privé de tout argument pour décider si elle appartient au type cristallin ou au type amorphe de la matière. Encore peut-être trouverait-on moyen, dans certains cas très spéciaux, de la déclarer vraisemblablement cristalline par analogie de ses propriétés continues avec celles de certains cristaux bien caractérisés (je ne vois guère comme exemple que le cas de la pyro-électricité). Mais ce qui est bien certain, au moins, c'est que, si toutes les substances cristallines étaient sans faces ni clivages ni autres propriétés discontinues, jamais on n'aurait imaginé d'établir une différence essentielle entre elles et les substances amorphes anisotropes et de leur attribuer une structure spéciale. En vertu de quoi déclare-t-on amorphe une fibre organique? Uniquement parce qu'elle ne possède pas ces propriétés discontinues. La termiérite, sorte d'argile, minéral compact sans faces ni clivages, et qui est biréfringente, donc anisotrope, par grandes plages sensiblement homogènes, est-elle cristalline, est-elle amorphe? Devra-t-on lui attribuer la structure réticulaire ou non? Aucun criterium ne permet de répondre à cette question tant qu'on n'y aura constaté aucune propriété vectorielle discontinue, faces ou clivages, accessoirement macles ou glissements.

Il est clair, par conséquent, que c'est seulement dans l'existence des propriétés vectorielles discontinues que réside la véritable définition de l'état cristallin. Toute théorie qui ne prend pas ces propriétés pour base n'est pas spéciale aux cristaux, mais s'applique ou doit s'appliquer aussi à la matière amorphe. Lorsque Mallard, par exemple, croit pouvoir tirer la structure réticulaire des seules notions d'anisotropie et d'ho-

mogénéité, il s'engage par là même à attribuer la structure réticulaire à toute portion homogène d'un verre déformé ou trempé. En fait, telle n'est pas son intention. Et s'il élimine des résultats de sa théorie de tels solides amorphes, à quel moment le fait-il? C'est au moment précis où, en admettant l'hypothèse réticulaire, il imagine un milieu dans lequel la répartition de la matière dans les différentes directions est une fonction essentiellement discontinue de ces directions. Par là il introduit, en même temps que d'autres faits d'observation que nous essaierons de dégager plus loin, ce premier fait essentiel, véritable définition de la matière cristallisée, qui est l'existence de propriétés vectorielles discontinues.

De là résulte que l'on doit considérer comme un fait primordial, tiré de l'observation seule, l'existence dans les cristaux des propriétés discontinues. Ce sont les faces planes et arêtes rectilignes, qu'elles soient formes extérieures, clivages, éléments de glissement ou de macle, qui sont à la base de la cristallographie. Il est illusoire d'essayer de partir d'autre chose. Lorsque Schœnflies définit le cristal « un corps solide homogène, anisotrope et dont les propriétés vectorielles varient avec la direction suivant des lois déterminées de symétrie », définition qui ne diffère pas de celle de Mallard, ce n'est pas le cristal qu'il définit ainsi. Tout ce qu'il déduit de cette définition s'applique aussi bien à la matière amorphe anisotrope, jusqu'au moment où il introduit implicitement la loi des troncatures rationnelles, c'est-à-dire l'existence des faces planes; ce qu'il fait en deux fois. Une première fois, dans l'étude des groupes de symétrie sans translation, en *admettant* que les seuls axes possibles sont d'ordre 2, 3, 4, 6, ce qui est un des aspects partiels de la loi d'Haüy et ne résulte pas de la définition ci-dessus du cristal; et ce qui, cependant, suffit à supporter, à soi seul, la conclusion tout

entière, car les 32 groupes de symétrie ne sont autres que *tous* les modes possibles de symétrie pour une figure jouissant de cette *seule* propriété de n'avoir que des axes d'ordre 2, 3, 4, 6.

A vrai dire, non dans les mots mais en réalité, Schœnflies définit donc à ce moment le cristal « un corps solide, homogène et anisotrope, qui n'a que des axes d'ordre 2, 3, 4, 6 ». Ce qui suffit immédiatement pour conduire aux 32 symétries. Pour aller plus loin, il faut bien introduire les faces planes et la loi des troncatures rationnelles, et non plus seulement une des conséquences de cette loi. C'est ce que fait Schœnflies en admettant l'existence de groupes de translation, c'est-à-dire l'hypothèse réticulaire. Ou, en d'autres termes, en modifiant à nouveau la définition du cristal, qui devient « un corps solide (homogène et anisotrope naturellement) ayant la structure réticulaire » ([1]). Seulement, et c'est là qu'apparaît le défaut de la méthode synthétique, il ne s'aperçoit pas, ou du moins ne met pas en évidence, qu'avec la structure réticulaire il introduit non seulement la loi d'Haüy mais d'autres faits d'observation qui n'en résultent nullement. Au lieu d'énoncer simplement la loi d'Haüy et d'en tirer les conséquences, il la fait intervenir implicitement et en deux fois: d'abord par une de ses conséquences partielles (existence

---

([1]) Je ne voudrais pas que l'on pût prendre ceci pour une critique adressée au raisonnement même de Schœnflies. Le dernier chapitre de *Krystallsysteme und Krystallstructur* montre assez que Schœnflies considère la loi d'Haüy comme étant la base de toute la cristallographie (Der für die Krystallographie *grundlegende* Satz von den rationalen Indices). C'est tout à fait consciemment qu'il applique la méthode synthétique. Je tiens seulement à montrer qu'on ne peut rien bâtir en cristallographie sans partir des faces planes et de la loi d'Haüy. Car si Schœnflies, au fond, le comprend bien ainsi, beaucoup de gens sont trompés au contraire par la définition partielle et incomplète du cristal qu'il donne au début. De même pour Bravais, Mallard, etc.

des seuls axes d'ordre 2, 3, 4, 6), puis par une hypothèse qui, nous le ferons voir, contient non seulement cette loi, mais d'autres faits indépendants. Quoi qu'il en soit, sous une forme ou sous une autre, on ne peut se dispenser de faire appel aux faces planes et à la loi qui les régit. Si quelques-uns ont cru le faire, ç'a été dans la forme, non dans le fond.

II. *Loi d'Haüy.* — Du seul fait qu'il existe dans les cristaux des propriétés discontinues, mises en évidence par des plans et droites de directions déterminées jouissant de propriétés dont les plans et droites de direction voisine ne jouissent à aucun degré voisin, peut-on tirer des déductions intéressantes? Peut-on, notamment, en conclure quelque chose relativement aux modes de symétrie possibles dans les cristaux? Peu de chose en réalité. La discontinuité (c'est-à-dire le fait que l'on peut constater physiquement la discontinuité) implique que ces plans et droites sont en nombre fini. Cela élimine, comme impossibles dans les cristaux, les axes de symétrie d'ordre infini, qu'ils soient ou non de révolution. A part cette restriction, tout polyèdre d'un nombre fini de faces étant la représentation d'un ensemble de directions de plans et de droites essentiellement discontinu, un cristal, si on le définissait, sans plus préciser, comme possédant des propriétés discontinues, pourrait avoir la symétrie de n'importe quel polyèdre d'un nombre fini de faces.

Il faut donc, dès maintenant, ajouter à l'existence des faces planes et arêtes rectilignes un autre fait d'observation. Ce fait, c'est la loi qui régit les directions de ces plans et arêtes, la loi d'Haüy.

Les positions absolues des faces d'un cristal (faces extérieures, clivages, plans de glissement ou de macle) ne sont pas déterminées. C'est la loi de la constance des angles, ou loi de Romé de l'Isle, et qui n'est qu'une forme de la notion

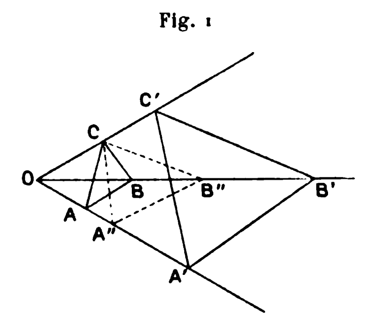
d'homogénéité. Si ces positions étaient déterminées le corps considéré ne serait plus homogène, ce ne serait plus un *cristal*. Le fait qu'il existe des *cristaux*, c'est-à-dire des masses de matière cristalline homogène, implique, étant donnée l'existence des faces planes, l'indétermination de la position et la détermination de la direction de ces faces.

De plus, soient AOB, BOC, COA, ABC quatre faces d'un cristal telles qu'aucune d'elles ne soit parallèle à l'intersection de deux des autres. Soit encore A′B′C′ une cinquième face non parallèle aux premières. Lorsque ces faces sont assez planes pour permettre des mesures d'angles, et dans les limites de précision où ces mesures sont possibles en raison de la planitude des faces et de l'exactitude des meilleurs goniomètres, on a toujours :

$$(1) \qquad \frac{OA'}{OA} : \frac{OB'}{OB} : \frac{OC'}{OC} = \lambda : \mu : \nu,$$

λ, μ, ν étant des nombres rationnels simples, ou qui du moins sont très simples si les faces AOB, BOC, COA, ABC sont conve-

Fig. 1



nablement choisies. C'est la loi des troncatures rationnelles ou loi d'Haüy. En tant que fait d'observation, elle consiste en ceci que les nombres λ, μ, ν ne diffèrent de nombres rationnels simples que de quantités inférieures aux erreurs de

mesure. En disant qu'ils *sont* rationnels nous n'exprimons pas autre chose. Nous ne faisons pas cette hypothèse inutile qu'ils sont rationnels en toute rigueur. Lorsque nous raisonnerons sur ces nombres comme s'ils étaient réellement rationnels, nos résultats s'appliqueront aux cristaux dans la mesure où les nombres λ, μ, ν réels approcheront des nombres rationnels, rien de plus.

Dire que les nombres λ, μ, ν sont rationnels simples, c'est dire encore que l'on peut les prendre, eux ou leurs inverses, entiers et inférieurs à une certaine limite. La loi d'Haüy, sous sa forme la plus générale, laisse cette limite indéterminée. Mais elle en affirme l'existence. Si en effet cette limite n'existait pas, le phénomène cesserait d'être physiquement discontinu et la loi d'Haüy n'aurait plus aucun sens. Nous conviendrons de prendre toujours entiers les nombres $l = \frac{1}{\lambda}$, $m = \frac{1}{\mu}$, $n = \frac{1}{\nu}$. Dès lors nous exprimerons la loi d'Haüy de la manière suivante : les nombres l, m, n peuvent être pris entiers et inférieurs à un maximum L. Ce sont les *caractéristiques* de la face A'B'C'.

C'est là une forme aussi peu précisée que possible de la loi qui relie les directions des faces entre elles. En fait, l'observation permet d'aller plus loin et de spécifier, parmi les plans pour lesquels l, m, n sont entiers et inférieurs à L, quels sont ceux qui jouent le rôle le plus important dans les propriétés discontinues. Cette forme précisée de la loi d'Haüy (loi de Bravais), nous la laissons de côté pour le moment. Nous nous proposons de chercher ce que l'on peut tirer de la loi sous sa forme la plus générale, la plus vague, qui est celle que nous avons indiquée ci-dessus.

Une autre expression, plus géométrique, peut être donnée à cette loi. La position de la face A'B'C' n'étant pas déterminée, mais seulement sa direction, déplaçons cette face

jusqu'à ce qu'elle passe par le point C. Les relations (1) deviennent :

$$\frac{OA'}{OA} = \frac{n}{l}, \qquad \frac{OB'}{OB} = \frac{n}{m},$$

$\frac{n}{l}$ et $\frac{n}{m}$ étant rationnels simples. D'où il suit que si l'on construit un réseau de parallélépipèdes contigus et identiques entre eux dont les arêtes soient en grandeur et direction OA, OB, OC, toute face du cristal, telle que A'B'C', est parallèle à un plan réticulaire de ce réseau. De plus, si l'on appelle S l'aire de la maille de ce plan réticulaire, on a

$$S^2 = Al^2 + Bm^2 + Cn^2 - 2Dlm - 2Emn - 2Fnl,$$

A, B, C, D, E, F étant des constantes qui dépendent du choix des quatres faces initiales AOB, BOC, COA, ABC. En sorte que l, m, n étant inférieurs à un maximum L, l'aire S est également, pour toutes les faces possibles du cristal, inférieure à un maximum. La loi d'Haüy peut donc s'exprimer sous cette forme, exactement équivalente à la première : les directions des faces d'un cristal sont parmi celles des plans réticulaires d'un réseau, et parmi celles dont l'aire réticulaire est inférieure à un certain maximum.

Le réseau que nous considérons ici n'a rien d'une hypothèse physique. C'est une formule commode pour exprimer la loi d'Haüy, pas autre chose.

De cette expression géométrique de la loi d'Haüy résulte une tentation bien grande pour la méthode synthétique. C'est d'imaginer, sous un prétexte facile à concevoir en gros, impossible à justifier avec précision, que le réseau en question existe réellement sous une forme ou sous une autre dans le cristal. Non pas en partant de la loi d'Haüy et pour la relier à autre chose, ce qui serait légitime, mais en partant *a priori* de quelque raisonnement approximatif qui autorisera à installer dans le cristal un tel système de points, de droites et

de plans. Cela fait, ce ne sera qu'un jeu d'en tirer une foule de résultats, parmi lesquels la loi d'Haüy et toutes ses conséquences, celles notamment qui sont relatives aux symétries possibles dans les cristaux. Tout cela semblera sortir de presque rien. Mais au fond tout sera tiré de la loi d'Haüy, base implicite de l'hypothèse. Le résultat de cette méthode, c'est que les conséquences logiques de la loi, celles qui peuvent en être déduites sans hypothèse, se trouveront pêle-mêle avec les conséquences de l'hypothèse, qui peuvent bien ne pas toutes se confondre avec elles. Et nous verrons précisément que l'hypothèse réticulaire suppose implicitement d'autres faits expérimentaux que la loi des troncatures rationnelles, même en ce qui concerne simplement ses conséquences les plus immédiates relatives aux modes de symétrie.

Encore peut-on remarquer que nous faisons la part belle à la méthode synthétique en admettant que de la structure réticulaire admise comme hypothèse fondamentale elle puisse déduire l'existence des faces planes ou clivages et la loi des troncatures rationnelles. Elle est en réalité tout à fait incapable de le faire par de pures déductions logiques, à moins d'ajouter à l'hypothèse réticulaire toutes sortes d'autres hypothèses relatives aux particules matérielles, à leurs actions réciproques, etc. On dirait donc beaucoup plus justement que, si elle dissimule ces lois d'observation dans l'hypothèse réticulaire, c'est pour ne plus même les y retrouver ensuite.

Proposons-nous d'appliquer la méthode inverse. Ce sera, en somme, revenir à la saine méthode qui conduisit Hessel, dès 1830, à l'établissement des 32 modes de symétrie.

III. *Recherche des modes de symétrie possibles en vertu de la seule loi d'Haüy.* — Nous avons vu que : 1° La matière cristalline est *anisotrope*.

2° Elle se présente souvent en masses homogènes ou *cristaux*. Ce caractère, fréquent mais non constant, la distingue déjà dans une certaine mesure de la matière amorphe anisotrope, qui le présente moins souvent. Mais il ne suffit pas à une définition précise.

3° Au contraire, l'existence de *propriétés vectorielles discontinues* révélées par un nombre fini de faces planes et arêtes rectilignes jouissant de certaines propriétés à l'exclusion des directions voisines est absolument caractéristique de la matière cristallisée et doit lui servir de définition fondamentale.

4° Enfin ces faces et arêtes répondent à la *loi d'Haüy*, c'est-à-dire sont parallèles à un nombre fini de plans réticulaires d'un réseau.

On remarquera que la loi d'Haüy implique d'abord l'*anisotropie*. Qu'elle ne s'applique qu'au *cristal*, défini par son homogénéité, non à une masse cristalline quelconque. Qu'elle implique donc dans son énoncé l'existence de tels cristaux, c'est-à-dire l'homogénéité, et en particulier la loi de la constance des angles. Qu'enfin elle implique la *discontinuité* des propriétés vectorielles auxquelles elle s'applique. A elle seule, elle résume donc tous les faits précédents, en leur ajoutant d'ailleurs une donnée d'observation importante.

Tout l'ensemble des faits ci-dessus se résume donc en une loi qui les contient tous. Prenons-la pour base, et cherchons quelles sont ses conséquences en ce qui concerne les modes de symétrie possibles dans les cristaux.

Toutes les faces d'un cristal sont parallèles à des plans réticulaires d'un réseau. Nous ne devons, pour le moment, supposer à ce réseau aucune existence dans le cristal. Nous devons, en particulier, nous interdire de supposer *a priori* que dans ce réseau deux directions d'arêtes physiquement identiques dans le cristal ont même paramètre. Car cela n'est

pas inclus dans la loi d'Haüy, et le réseau doit, tel que nous le concevons pour le moment, nous servir à exprimer cette loi seule. Faire cette supposition ce serait attribuer une réalité physique au réseau. Ce serait faire l'hypothèse réticulaire.

La maille de ce réseau est indéterminée en grandeur. Seule sa forme est définie, une fois que les quatre faces initiales ont été choisies. Elles peuvent d'ailleurs être choisies arbitrairement parmi les faces connues, et même de diverses manières parmi les plans réticulaires du réseau déterminé par quatre faces connues, le nombre de ces déterminations du réseau dépendant de la limite L arbitrairement fixée pour les caractéristiques. Il y a donc divers réseaux possibles pour définir l'ensemble des faces d'un cristal, tant que le réseau ne doit exprimer que la forme la plus générale de la loi d'Haüy.

Nous appelons réseaux *multiples* d'un réseau donné tous les réseaux qui ont les mêmes plans réticulaires.

Si par un point nous menons des plans parallèles à tous les plans réticulaires d'un réseau, nous dirons que l'ensemble de ces plans constitue un *faisceau complet de plans*. Un faisceau complet de plans peut encore se définir ainsi : Soient a, b, c trois longueurs quelconques (paramètres) portées sur trois droites passant par un point et prises pour axes de coordonnées. Alors tous les plans du faisceau complet ont pour équations

$$\frac{lx}{a} + \frac{my}{b} + \frac{nz}{c} = 0,$$

l, m, n étant des entiers quelconques.

De même l'ensemble des rangées d'un réseau passant par un même point constitue un faisceau complet de droites. Ce sont toutes les intersections des plans d'un faisceau complet

de plans. Les équations de toutes ces droites sont

$$\frac{x}{pa} = \frac{y}{qb} = \frac{z}{rc},$$

p, q, r étant des entiers quelconques.

Sous le nom de *faisceau complet* nous comprendrons en même temps l'ensemble des plans et l'ensemble des droites qui sont leurs intersections.

Un tel faisceau constitue un ensemble imparfait. Essentiellement discontinu, il est tel cependant qu'étant donné un plan (ou une droite) quelconque, on peut toujours trouver dans le faisceau un plan (ou une arête) faisant avec celui-là un angle aussi petit qu'on le veut. Il constitue donc, au point de vue physique, un ensemble continu remplissant tout l'espace autour du centre.

Les symétries d'un tel faisceau complet sont très différentes de celles qui sont possibles pour un ensemble d'un nombre fini de faces ou pour un réseau ([1]). Elles peuvent comporter des axes d'ordre infini (non pour cela de révolution) et un nombre infini d'axes. Ainsi le faisceau complet défini par un réseau cubique a une infinité d'axes quaternaires et une infinité d'axes sénaires, qui sont tous en même temps d'ordre infini, et une infinité d'axes binaires d'une infinité d'espèces différentes qui sont en même temps d'ordre infini. L'étude complète de ces symétries, curieuse au point de vue géométrique, est sans intérêt au point de vue des cristaux, dans lesquels le nombre des faces est essentiellement limité (discontinuité) et où, par suite, il ne peut y avoir d'axes d'ordre infini. Nous n'aurons besoin que de quelques-unes des propriétés des faisceaux complets.

([1]) Elles sont les mêmes que celles d'un réseau dont les paramètres seraient infiniment petits. Quand nous parlons ici des symétries d'un réseau nous entendons celles d'un réseau dont les paramètres sont finis.

On appellera *faisceau partiel* d'un cristal l'ensemble des plans menés par un point parallèlement à toutes les faces ou clivages, plans de macle et de glissement connus de ce cristal. Nous ne considérerons dans ces plans que leur *orientation* et ne les distinguerons pas entre eux, dans ce qui va suivre, par d'autres propriétés. Car le faisceau devra nous servir seulement à étudier les conséquences de la loi d'Haüy. Seulement, en vertu même de cette loi, il y a deux choses à considérer dans l'orientation d'un plan, notamment lorsqu'il s'agit d'une face de la forme extérieure : d'abord la direction du plan, puis sa place sur l'une ou l'autre face du cristal. Car la loi d'Haüy n'implique pas que, si une face existe sur un cristal, la face parallèle et opposée soit connue aussi. En fait, on sait que cela n'a pas toujours lieu. Nous devons donc, dans le faisceau partiel, considérer comme distinctes les deux faces d'un même plan. Si le faisceau partiel a un centre, tous ses plans sont doubles, leurs deux faces sont équivalentes. Mais il peut n'avoir pas de centre.

Le faisceau partiel comprend un faisceau de plans et un faisceau d'arêtes, qui sont les intersections de ces plans.

La loi d'Haüy nous enseigne que l'on peut toujours choisir trois arêtes du faisceau partiel (et en général de plusieurs façons), de telle sorte que, a, b, c étant trois longueurs constantes relatives à ces trois arêtes, tout plan ou faisceau partiel ait pour équation

$$\frac{lx}{a} + \frac{my}{b} + \frac{nz}{c} = 0,$$

l, m, n étant des entiers inférieurs à une limite L. Les directions des plans et arêtes d'un faisceau partiel sont donc celles d'une partie des plans et arêtes d'un faisceau complet, en nombre fini. Un faisceau partiel, c'est en somme un ensemble de plans et droites répondant à la loi d'Haüy.

Nous commencerons par chercher quels sont tous les modes de symétrie possibles pour un faisceau partiel, c'est-à-dire pour l'ensemble des propriétés vectorielles discontinues définies par la seule loi d'Haüy (¹).

Les seules opérations de symétrie qu'il y ait lieu de considérer pour un faisceau sont celles qui laissent immobile le point par où sont menés tous les plans. Les éléments de symétrie possibles sont donc :

Un centre. Tout faisceau complet en possède un. Mais il peut faire défaut dans un faisceau partiel.

Des axes de symétrie.

Des plans de symétrie ordinaire. Des plans de symétrie alterne (²).

Théorème I. — On ne change pas un faisceau complet quand on multiplie ses paramètres a, b, c par des nombres rationnels.

Car soient $a' = \lambda a$, $b' = \mu b$, $c' = \nu c$; λ, μ, ν étant des nombres rationnels. Un plan P du faisceau, dont les caractéristiques sont l, m, n, a pour équation

$$\frac{lx}{a} + \frac{my}{b} + \frac{nz}{c} = 0,$$

(¹) La série de déductions qui va suivre n'a aucune prétention à la nouveauté. Il s'agit simplement d'exposer des raisonnements connus dans un ordre logique et de remettre en évidence l'importante considération des axes ternaires irrationnels, déjà signalés en 1867 par Gadolin, mais que l'hypothèse réticulaire a fait oublier depuis lors, et que l'on connait peu.

(²) Nous définissons le plan de symétrie alterne comme Curie. En d'autres termes, nous n'appelons axes de symétrie d'ordre n que les axes d'ordre n de première espèce de Schœnflies, et faisons porter sur le plan de symétrie la notion de symétrie alterne (axes de seconde espèce de Schœnflies). Cela est indifférent au fond et plus commode dans la forme.

ou encore

$$\frac{\lambda l x}{a'} + \frac{\mu m y}{b'} + \frac{\nu n z}{c'} = 0.$$

Les paramètres a', b', c' définissent donc un nouveau faisceau dont tout plan P fait partie, car λl, μm, νn sont rationnels.

Théorème II. — Tout faisceau complet qui a un axe d'ordre pair a aussi un plan de symétrie normal à cet axe. Tout faisceau complet qui a un axe d'ordre n impair a aussi un plan de symétrie alterne d'ordre n normal à cet axe, et réciproquement.

Car tout faisceau complet a un centre.

Théorème III. — Si un faisceau complet a un axe d'ordre n, *n étant différent de* 3, cet axe est une arête du faisceau et le plan qui lui est normal est un plan du faisceau.

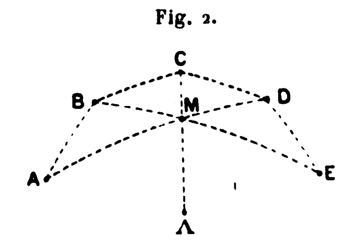
Soit d'abord $n = 2$. Soient A, B deux arêtes du faisceau, obliques par rapport à l'axe et non symétriques l'une de l'autre par rapport à cet axe. Leurs symétriques A′, B′, par rapport à l'axe, sont des arêtes du faisceau. Les deux plans AA′, BB′, qui contiennent chacun deux arêtes, sont donc des plans du faisceau. Ils se coupent suivant l'axe, qui est donc une arête du faisceau.

De même, soient M, N deux plans du faisceau, obliques par rapport à l'axe. Leurs symétriques M′, N′, par rapport à l'axe, sont des plans du faisceau. Les plans M et M′, N et N′ se coupent respectivement suivant deux droites qui sont par conséquent des arêtes du faisceau et qui sont normales à l'axe. Le plan normal à l'axe, qui contient ces deux arêtes, est donc un plan du faisceau.

Soit ensuite $n > 3$. Coupons le faisceau par une sphère concentrique. Soient A le pôle de l'axe d'ordre n, A le pôle

d'une arête du faisceau, oblique par rapport à l'axe. Faisons tourner le faisceau n fois de $\frac{2\pi}{n}$ autour de l'axe. Ces rotations amènent l'arête A en B, C, D, E, ... Comme elles doivent ramener le faisceau en coïncidence avec sa position primitive, les points A, B, C, D, ..., au nombre de 4 au minimum, obtenus par rotations successives de o, $\frac{2\pi}{n}$, $2\frac{2\pi}{n}$, $3\frac{2\pi}{n}$, etc. du point A sont des pôles d'arêtes du faisceau. Les plans pas-

Fig. 2.



sant par les arêtes B et C d'une part, A et D d'autre part, sont des plans du faisceau. Ils se coupent suivant une droite qui est une arête du faisceau et qui est normale à l'axe. Si $n = 4$, il en est de même pour les plans AB, CD. Si $n > 4$, soit E une cinquième arête obtenue par une nouvelle rotation de $\frac{2\pi}{n}$ de l'arête D, les plans CD, BE se couperont encore suivant une droite qui est normale à l'axe et qui est une arête du faisceau. Dans tous les cas, par suite, il y a deux arêtes du faisceau normales à l'axe. Par suite, le plan normal à l'axe est un plan du faisceau.

De plus, si $n = 4$, les plans AC, BD, qui sont des plans du faisceau, se coupent suivant l'axe, qui est donc une arête du faisceau. Si $n > 4$, les plans AD, BE se coupent suivant une arête M du faisceau qui est dans le plan passant par l'arête C et l'axe. Ce plan, qui contient ainsi deux arêtes, est un plan

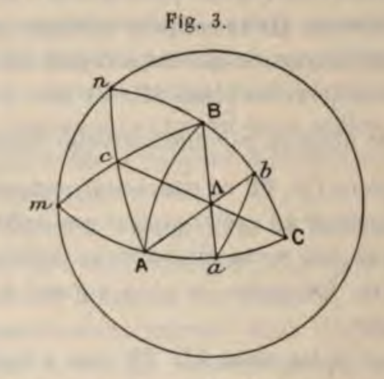
du faisceau. De même, par suite, le plan passant par l'arête A (ou B, etc.) et l'axe est un plan du faisceau. L'axe, qui est ainsi contenu dans deux plans du faisceau, est donc une arête du faisceau.

Remarque importante. — La démonstration est en défaut pour les seuls axes d'ordre 3. Et, en fait, nous verrons que le théorème n'est plus vrai en général pour les axes ternaires. On peut imaginer des faisceaux complets ou partiels répondant à la loi d'Haüy, ayant un ou plusieurs axes ternaires, et tels que l'axe ternaire ne soit pas une arête du faisceau complet, ni le plan normal à cet axe un plan du faisceau complet.

Théorème IV. — Si un axe ternaire d'un faisceau complet est une arête de ce faisceau, le plan qui lui est normal est un plan du faisceau. Et réciproquement.

Car soit Λ le pôle de l'axe ternaire. A celui d'une arête

Fig. 3.



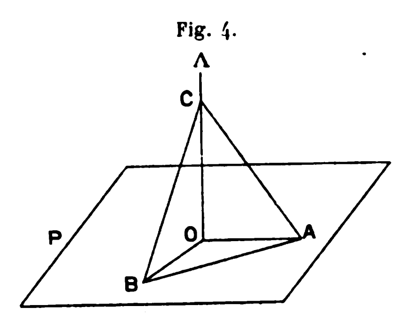
quelconque oblique sur cet axe. B, C les deux symétriques de A obtenus par la rotation de $\frac{2\pi}{3}$ autour de l'axe. B, C sont des arêtes. Si l'axe Λ est une arête du faisceau, le plan BΛ est un

plan du faisceau, et de même le plan AΛ. Donc *a* et *b* sont des pôles d'arêtes du faisceau, et par suite *ab* est un plan du faisceau. Les plans AB et *ab* se coupent suivant une droite qui est normale à l'axe et qui est une arête du faisceau. En appliquant le même raisonnement aux arêtes A et C par exemple, on verrait qu'il y a de même une autre arête normale à l'axe Λ. Le plan normal à cet axe est donc un plan du faisceau.

Réciproquement, si le plan P normal à l'axe est un plan du faisceau, soient A, B, C trois arêtes symétriques par rapport à l'axe Λ. Les intersections *m*, *n* des plans AC, BC avec le plan P sont des arêtes du faisceau. Les plans *m*B, *n*A sont donc des plans du faisceau. Leur intersection *c* est donc une arête du faisceau. Par suite le plan C*c*, qui passe par l'axe Λ, est un plan du faisceau. Il y en a, de même, deux autres semblables. L'axe Λ, qui est leur intersection, est donc une arête du faisceau.

Théorème V. — Si un axe ternaire d'un faisceau complet est une arête de ce faisceau, il en est en réalité un axe sénaire.

Fig. 4.



En effet, dans ce cas le plan P normal à l'axe est un plan du faisceau. Soit CA parallèle à une arête oblique sur l'axe. Le plan OCA, qui contient deux arêtes Λ et AC, est un plan du

faisceau. Son intersection avec le plan P, c'est-à-dire OA, est donc une arête du faisceau. De même, en faisant tourner le plan OCA de $\frac{2\pi}{3}$ autour de l'axe, BC et OB sont des arêtes du faisceau. Le plan ABC est par suite un plan du faisceau. On peut donc définir le faisceau au moyen de ses quatre plans P, OCA, OCB, ABC, en prenant pour axes de coordonnées les arêtes OA, OB, OC, et pour paramètres OA, OB, OC, avec

$$OA = OB.$$

Dès lors, si l, m, n sont les caractéristiques entières d'un plan du faisceau, les caractéristiques du plan obtenu en le faisant tourner de $60^\circ = \frac{2\pi}{6}$ autour de l'axe sont $l+m, -l, n$ ou $-m, l+m, n$. Elles sont entières. Le nouveau plan fait donc partie du faisceau. Par suite l'axe est en réalité d'ordre 6.

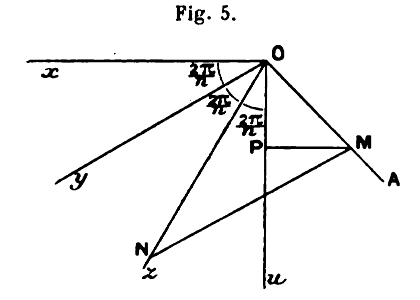
Théorème VI. — Un faisceau ne peut avoir que des axes d'ordre 2, 3, 4, 6 (et d'ordre infini si c'est un faisceau complet).

Soit n l'ordre de l'axe. Il est évident d'abord que les axes d'ordre 2 et 3 sont possibles. Un faisceau complet défini par un réseau dont la maille est un prisme clinorhombique possède en effet un axe binaire. Et un faisceau partiel comprenant seulement trois faces de rhomboèdre par exemple possède un axe ternaire. Nous reviendrons plus loin en détail sur les axes ternaires. Supposons alors $n > 3$. Soit O la trace de l'axe d'ordre n normal au plan de la figure. Soient Ox une arête oblique sur l'axe. Oy, Oz, Ou ses symétriques obtenues par rotations de $\frac{2\pi}{n}$ autour de l'axe. Il y en a $n > 3$, et ce sont des arêtes du faisceau. Rapportons le faisceau aux trois arêtes Ox, Oy, Oz. Soient a, b, c leurs paramètres, que nous ne devons pas supposer égaux *a priori* sous peine d'introduire

dans notre raisonnement autre chose que la loi d'Haüy. L'arête Ou doit satisfaire à la loi d'Haüy. C'est-à-dire que les coordonnées d'un de ses points P doivent être de la forme λa, μb, νc, $\lambda : \mu : \nu$ étant rationnels (ou nuls). Ces coordonnées étant comptées sur les axes Ox, Oy, Oz qui sont également inclinés sur le plan de la figure, leurs rapports doivent se conserver en projection sur celui-ci.

Soit OA la bissectrice extérieure de l'angle des axes Oy, Oz.

Fig. 5.



Ou est dans le plan passant par Ox et parallèle à OA, c'est-à-dire dans le plan $y + z = o$. Par suite la parallèle à Ox menée par le point P rencontre le plan yOz sur OA, en M. Les coordonnées de P, projetées sur le plan de la figure, sont donc $x = \text{PM}$, $y = -\text{MN}$, $z = \text{ON} = \text{MN}$. On doit donc avoir

$$\frac{\text{PM}}{a} : \frac{\text{MN}}{b} : \frac{\text{MN}}{c}$$

rationnels (ou nuls). Ce qui d'abord exige que $b : c$ soit rationnel. Oy et Oz sont deux quelconques successives des arêtes Ox, Oy, etc. Il faut donc que $a : b : c$ soient rationnels. Cela résulte d'ailleurs aussi de ce que, dans un faisceau complet, le plan normal à un axe d'ordre n est un plan du faisceau si n est différent de 3 (théorème III). Cela étant, il faut et il

suffit que $\frac{PM}{MN}$ soit rationnel, nul ou infini. Or

$$\frac{PM}{OM} = \frac{\sin POM}{\sin OPM} = \frac{\cos \frac{3\pi}{n}}{\sin \frac{6\pi}{n}}.$$

Et

$$\frac{OM}{MN} = \frac{\sin ONM}{\sin NOM} = \frac{\sin \frac{2\pi}{n}}{\cos \frac{\pi}{n}}.$$

D'où

$$\frac{PM}{MN} = \frac{\cos \frac{3\pi}{n} \sin \frac{2\pi}{n}}{\sin \frac{6\pi}{n} \cos \frac{\pi}{n}} = \frac{1}{1 + 2 \cos \frac{2\pi}{n}}.$$

Il faut et il suffit, pour que l'axe puisse être d'ordre n, que $\cos \frac{2\pi}{n}$ soit nul ou rationnel, n étant entier. Ce qui n'est possible que pour

$$\cos \frac{2\pi}{n} = 0, \qquad \frac{2\pi}{n} = \frac{\pi}{2} \qquad \text{d'où} \qquad n = 4,$$

$$\cos \frac{2\pi}{n} = \frac{1}{2}, \qquad \frac{2\pi}{n} = \frac{\pi}{3} \qquad \text{d'où} \qquad n = 6,$$

$$\cos \frac{2\pi}{n} = 1, \qquad \frac{2\pi}{n} = 0 \qquad \text{d'où} \qquad n = \infty$$

(ou encore pour $n = 1$, 2, 3. Mais le raisonnement n'est pas applicable à ces cas).

Les seuls axes possibles sont donc d'ordre 2, 3, 4 ou 6 (et ∞ pour un faisceau complet).

Et de plus pour les axes d'ordre 2, 4, 6, les paramètres de deux arêtes symétriques par rapport à l'axe sont en rapports rationnels. On peut donc, sans modifier le faisceau complet, les prendre égaux (théorème I).

Pour les axes d'ordre 3, il en est autrement. Deux cas sont possibles.

1° L'axe ternaire est une arête du faisceau complet. Dans ce cas, le plan normal à cet axe est un plan du faisceau complet (théorème IV), et par suite les paramètres de deux arêtes symétriques par rapport à l'axe ternaire sont en rapports rationnels. On peut, comme dans les cas précédents, les prendre égaux sans modifier le faisceau complet. D'ailleurs dans ce cas l'axe peut bien être ternaire pour un faisceau partiel, mais il est sénaire pour le faisceau complet. Les axes ternaires de ce genre sont, en fait, les seuls que l'on connaisse dans les cristaux.

2° L'axe ternaire n'est pas une arête du faisceau complet, ni par suite le plan normal un plan du faisceau complet. De tels axes sont-ils possibles en vertu de la loi d'Haüy, et à quelles conditions? Prenons pour axes de coordonnées trois arêtes Ox, Oy, Oz résultant l'une de l'autre par rotation de 120° autour de l'axe ternaire. Soient a, b, c les paramètres de ces arêtes, et l, m, n les caractéristiques d'un plan du faisceau.

L'équation du plan est $\frac{lx}{a} + \frac{my}{b} + \frac{nz}{c} = 0$.

Faisons-le tourner de 120° autour de l'axe ternaire. L'équation du nouveau plan ainsi obtenu est

$$\frac{mx}{b} + \frac{ny}{c} + \frac{lz}{a} = 0.$$

Ce doit être un plan du faisceau. Par suite son équation doit être de la forme

$$\frac{\lambda x}{a} + \frac{\mu y}{b} + \frac{\nu z}{c} = 0,$$

λ, μ, ν étant entiers. On doit donc pouvoir trouver des valeurs de λ, μ, ν entières et telles que

$$\frac{\lambda b}{ma} = \frac{\mu c}{nb} = \frac{\nu a}{lc}.$$

Ceci exige que $\frac{a^2}{bc}, \frac{b^2}{ac}, \frac{c^2}{ab}$ soient rationnels. Ou encore, que $\frac{a^3}{abc}, \frac{b^3}{abc}, \frac{c^3}{abc}$ soient rationnels.

Il faut donc d'abord que $a^3 : b^3 : c^3$ soient rationnels. Comme *abc* ne sont définis que par leurs rapports, on peut toujours les choisir alors de façon que a^3, b^3, c^3 soient rationnels. Dès lors, il faut non seulement que les cubes des paramètres soient rationnels, mais que leur produit *abc* le soit également. Il faut, en résumé, que les rapports $a^3 : b^3 : c^3 : abc$ soient rationnels. Telle est la condition nécessaire pour que l'axe ternaire puisse exister dans un faisceau conforme à la loi d'Haüy.

Cette condition est évidemment réalisée lorsque les paramètres $a : b : c$ sont rationnels, c'est-à-dire dans le cas d'un axe ternaire qui est une arête du faisceau complet. Mais cela est possible aussi sans que $a : b : c$ soient rationnels. Prenons par exemple

$$a = 1, \qquad b = \sqrt[3]{2}, \qquad c = \sqrt[3]{4}, \qquad abc = 2.$$

Trois droites résultant l'une de l'autre par rotation de 120° autour d'un axe, et sur lesquelles on porte respectivement ces trois paramètres, définissent un faisceau complet (et des faisceaux partiels) dans lequel l'axe est un axe ternaire.

On aura pour ce faisceau :

$$\frac{\lambda l}{\nu m} = \frac{a^3}{abc} = \frac{1}{2},$$
$$\frac{\mu m}{\nu n} = \frac{b^3}{abc} = 1,$$
$$\frac{\nu n}{\mu l} = \frac{c^3}{abc} = 2.$$

Par exemple, prenons $\frac{\lambda}{m} = 1$. Alors $\lambda = m$, $\mu = n$, $\nu = 2l$. C'est-à-dire que la face dont les caractéristiques sont $(l.\ m.\ n)$

et celle dont les caractéristiques sont $(m.n.\bar{2l})$, qui appartiennent toutes deux au faisceau complet (et peuvent par suite appartenir à un même faisceau partiel) résultent l'une de l'autre par rotation de 120° autour de l'axe.

Il suit de là que, si l'on considère un réseau dont la maille est construite sur trois arêtes résultant l'une de l'autre par rotation de 120° autour d'un axe Λ_1, avec trois paramètres *abc* en rapports irrationnels, mais dont les cubes et le produit a^3, b^3, c^3, *abc* sont en rapports rationnels, un tel réseau, *qui ne peut avoir l'axe pour axe ternaire*, définit cependant un faisceau complet dont Λ_1 est un axe ternaire, et dont par suite les faisceaux partiels peuvent aussi avoir cet axe pour axe ternaire.

Pour abréger nous appellerons un tel axe *axe ternaire irrationnel* et le désignerons par Λ_1^3, en réservant la notation Λ^3 pour les axes ternaires du premier genre.

Un axe ternaire irrationnel ne peut être une arête du faisceau complet, ni le plan qui lui est normal un plan du faisceau complet. Car si le plan normal était un plan du faisceau complet, les paramètres des trois arêtes symétriques par rapport à l'axe seraient en rapports rationnels.

De là résulte encore qu'un axe ternaire irrationnel est bien, pour le faisceau complet et *a fortiori* pour tout faisceau partiel, seulement un axe ternaire, et non sénaire. Car un axe sénaire d'un faisceau complet est une arête de ce faisceau et le plan normal un plan de ce faisceau.

Aucun *réseau* [1] ne peut posséder un axe ternaire irrationnel. Car le plan normal à un axe quelconque d'un réseau est toujours un plan réticulaire et un axe d'un réseau est toujours une rangée. Les seuls axes ternaires possibles pour un réseau sont donc les axes ternaires du premier genre, ceux qui sont

---

[1] Dont les paramètres sont finis.

rangées du réseau et axes sénaires du faisceau complet.

Ainsi la loi d'Haüy, si l'on n'y ajoute aucun autre fait d'observation, rend possibles dans les cristaux non seulement les axes d'ordre 2, 3, 4, 6 du type ordinaire, mais encore des axes ternaires dits irrationnels, qui ne sont pas des arêtes possibles du faisceau du cristal et dont le plan perpendiculaire n'est pas une face possible du cristal. Aucun réseau ne peut cependant posséder de tels axes. Lorsqu'un faisceau partiel a un axe ternaire irrationnel, il est impossible de trouver un réseau dont les plans de ce faisceau soient des plans réticulaires et qui possède l'axe pour axe ternaire.

Supposons donc un cristal dont le faisceau partiel possède un axe ternaire irrationnel. Les trois arêtes symétriques par rapport à l'axe qui définissent ce faisceau ont des paramètres nécessairement *différents* et en rapports irrationnels. *Elles sont néanmoins parfaitement identiques entre elles.* Car si les paramètres $a\,b\,c$ définissent un faisceau complet, les paramètres $b\,c\,a$, ou $c\,a\,b$, portés respectivement sur les mêmes arêtes, définissent le même faisceau complet. En effet il suffit pour cela que l'on ait $\frac{a}{b} : \frac{b}{c} : \frac{c}{a}$ rationnels. Ce qui est réalisé puisque $\frac{a^2}{bc}$, $\frac{b^2}{ac}$, $\frac{c^2}{ab}$ sont rationnels.

Si par exemple on porte sur trois droites symétriques par rapport à un axe ternaire trois paramètres

$$a = 1, \qquad b = \sqrt[3]{2}, \qquad c = \sqrt[3]{4},$$

ou respectivement sur les mêmes droites

$$a' = \sqrt[3]{2}, \qquad b' = \sqrt[3]{4}, \qquad c' = 1,$$

ou encore

$$a'' = \sqrt[3]{4}, \qquad b'' = 1, \qquad c'' = \sqrt[3]{2}.$$

Ces trois systèmes, déduits l'un de l'autre par rotation de

120° autour de l'axe, définissent le même faisceau complet. Les trois arêtes symétriques par rapport à un axe ternaire irrationnel jouent donc exactement le même rôle. Leur identité physique reste possible. Rien ne s'oppose, par suite, à ce qu'un tel cristal ait, dans toutes ses propriétés, l'axe Λ_1^3 pour axe ternaire. Ce qui est impossible seulement, c'est de trouver un réseau dont les faces du cristal soient des plans réticulaires et qui possède cet axe Λ_1^3 pour axe ternaire. Si de tels cristaux existaient, il serait impossible de trouver pour eux un réseau qui eût la même symétrie que le cristal. *Leur existence serait donc incompatible avec l'hypothèse réticulaire.* Et cependant elle est parfaitement compatible avec la loi des troncatures rationnelles.

On voit que, lorsqu'on remplace l'étude de la symétrie des faisceaux de plans répondant à la loi d'Haüy par l'étude des symétries des réseaux, comme on le fait en posant *a priori* l'hypothèse réticulaire, on restreint le problème. Pour tous les axes autres que les axes ternaires, cela est indifférent. Mais la loi d'Haüy rend possibles des types de faisceaux avec axes ternaires irrationnels qui ne peuvent se définir par aucun réseau de même symétrie. En remplaçant *faisceau* par *réseau* dans l'étude des symétries, on ajoute donc implicitement à la loi d'Haüy un autre fait, complètement indépendant de celle-ci et qui ne peut être emprunté qu'à l'observation. Ce fait peut s'exprimer ainsi :

Deux arêtes symétriques d'un cristal ont même paramètre. Ou plus généralement, elles ont des paramètres en rapport rationnel, en sorte qu'on peut toujours les choisir égaux. La loi d'Haüy exige ce fait pour deux arêtes symétriques par rapport à tout axe autre que les axes ternaires, mais non pour les axes ternaires. Pour ces derniers, cette loi ne peut être considérée que comme un *fait d'observation* à ajouter à la loi d'Haüy et à défaut duquel l'hypothèse réticulaire serait inad-

missible. On est tellement accoutumé à l'idée du réseau que, dans les raisonnements, on introduit en général inconsciemment cette loi. Elle n'en est pas moins un fait d'observation très important, masqué par l'introduction prématurée de l'hypothèse réticulaire, et qu'il est indispensable de joindre à la loi d'Haüy pour justifier cette hypothèse.

D'où provient cette singulière particularité des axes ternaires? Elle tient simplement à ce que 3 est le nombre des dimensions de l'espace. En géométrie plane, la même particularité se retrouve pour les axes binaires, il est aisé de le voir :

Considérons, dans le plan, un faisceau de droites répondant à la loi des troncatures rationnelles. Supposons que ce faisceau ait un axe de symétrie (forcément binaire) situé dans le plan. Soient OA, OB deux arêtes symétriques par rapport à l'axe. Prenons-les pour axes de coordonnées et soient $a\, b$ leurs paramètres. Une droite $\frac{lx}{a} + \frac{my}{b} = 0$ du faisceau a pour symétrique par rapport à l'axe $\frac{mx}{b} + \frac{ly}{a} = 0$. Ce doit être une droite du faisceau, et par suite son équation doit pouvoir se mettre sous la forme $\frac{\lambda x}{a} + \frac{\mu y}{b} = 0$.

D'où

$$\frac{\lambda b}{ma} = \frac{\mu a}{lb}.$$

Ce qui exige que $a^2 : b^2$ soit rationnel. Cette condition peut être réalisée sans que $a : b$ soit rationnel. Prenons par exemple $a = 1$, $b = \sqrt{2}$. Alors nous aurons

$$\frac{\lambda l}{\mu m} = \frac{1}{2}.$$

Par exemple

$$\lambda = m, \qquad \mu = 2l.$$

De sorte que si sur deux droites OA, OB du plan nous portons les paramètres 1 et $\sqrt{2}$, nous définissons ainsi un faisceau de droites répondant à la loi des troncatures rationnelles et tel qu'à toute droite ($l.m$) du faisceau en correspond une autre ($m.2l$) symétrique par rapport à la bissectrice des deux droites OA, OB. Cette bissectrice $x - y = 0$ est un axe du faisceau complet (plan) de droites. Mais aucun réseau plan ayant pour rangées les droites du faisceau ne peut avoir cette bissectrice pour axe. Et cet axe ne peut être une droite du faisceau (tant que $a : b$ est irrationnel) ni la perpendiculaire $x + y = 0$ non plus. Et aussi, rien ne distingue les arêtes OA, OB entre elles, encore que les paramètres dont il faut les affecter soient forcément différents. Car on définit le même faisceau complet en portant sur OA le paramètre 1 et sur OB le paramètre $\sqrt{2}$, ou en portant sur OA le paramètre $\sqrt{2}$ et sur OB le paramètre 1. L'identité physique des deux arêtes OA, OB n'écarte donc pas la possibilité d'un tel type de faisceau plan.

Dans l'espace, un axe binaire de ce genre est impossible. Et alors l'axe binaire irrationnel du plan, défini par les conditions $a : b$ irrationnel et $a^2 : b^2$ rationnel, est remplacé par l'axe ternaire irrationnel, avec les conditions $a : b : c$ irrationnels et $a^3 : b^3 : c^3 : abc$ rationnels.

En résumé, en vertu de la seule loi d'Haüy, un faisceau partiel ne peut avoir que des axes d'ordre 2, 3, 4, 6. Les axes d'ordre 2, 4, 6 sont toujours des arêtes du faisceau complet correspondant, et les plans qui leur sont perpendiculaires des plans du faisceau complet. (Les axes d'ordre 4 et 6 sont toujours des axes d'ordre infini du faisceau complet. Les axes d'ordre 2 peuvent être ou non d'ordre infini pour le faisceau complet).

Quant aux axes d'ordre 3, ils sont possibles de deux façons : ou bien ils sont arêtes du faisceau complet, et alors ils sont pour ce faisceau complet des axes d'ordre 6 (ce sont les seuls

connus en fait dans les cristaux), ou bien ils ne sont pas arêtes du faisceau complet (axes irrationnels) et alors ils sont seulement axes ternaires aussi bien pour le faisceau complet que pour le faisceau partiel.

Lorsqu'un faisceau partiel n'a que des axes d'ordre 2, 4, 6 ou des axes ternaires du premier type, on peut toujours trouver, pour le définir, un réseau ayant tous les éléments de symétrie du faisceau (et en général d'autres éléments supplémentaires). Mais lorsque le faisceau comporte un axe ternaire irrationnel, il est impossible de le définir au moyen d'un réseau possédant cet axe pour axe ternaire.

Si donc un cristal, ayant dans toutes ses propriétés un axe ternaire, avait un faisceau de faces dont cet axe fût un axe ternaire irrationnel, il serait impossible de trouver pour ce cristal un réseau possédant tous les éléments de symétrie du cristal. En d'autres termes, il serait impossible d'attribuer une réalité physique au réseau. Si l'on découvrait de tels cristaux, et rien dans la loi d'Haüy ne s'y oppose, l'hypothèse réticulaire serait, par cette découverte, démontrée inadmissible. Nous verrons à quels caractères on pourrait les reconnaître, et qu'il est infiniment probable qu'il n'en existe pas. Mais on ne peut avoir recours qu'à l'observation seule pour les éliminer, et il faut ajouter cette observation à la loi d'Haüy pour être en droit de poser *ensuite*, comme réunissant ces deux faits, l'hypothèse du réseau. Il est clair qu'une telle hypothèse a d'ailleurs d'autant plus de valeur qu'elle réunit plus de faits indépendants.

Cela étant, quels sont les types de symétrie que la loi d'Haüy rend possibles dans un faisceau partiel, puis en général dans un cristal?

Toutes les symétries possibles pour un faisceau partiel sont celles d'un polyèdre d'un nombre fini de faces et qui n'est

astreint qu'à cette condition de n'avoir que des axes d'ordre 2, 3, 4, 6. On sait qu'il y a 32 de ces types de symétrie. Ce sont encore, si l'on veut, tous les modes de symétrie possibles pour une figure quelconque astreinte à n'avoir que des axes d'ordre 2, 3, 4, 6 en nombre fini.

On appelle *symétrie d'un cristal* la symétrie de celle de ses propriétés qui est le moins symétrique. En d'autres termes, un axe, centre ou plan n'est élément de symétrie pour le cristal que s'il l'est pour toutes ses propriétés quelles qu'elles soient. Le cristal ne peut donc être plus symétrique qu'une quelconque de ses propriétés; mais il peut l'être moins. Si nous considérons en particulier les propriétés discontinues, exprimées par le faisceau partiel, un cristal ne peut donc être plus symétrique que son faisceau de faces. Il ne peut donc avoir qu'un nombre fini d'axes, et seulement des axes d'ordre 2, 3, 4, 6. Ses modes de symétrie possibles se réduisent donc aux mêmes 32 types qui sont possibles pour les faisceaux partiels. Le faisceau partiel d'un cristal ayant une certaine symétrie, qui est l'une des 32 possibles, le cristal peut, par toutes ses autres propriétés, avoir cette même symétrie. Ou bien il peut en avoir une autre inférieure, et qui appartiendra aussi à l'un des 32 types. La loi d'Haüy suffit pour arriver à cette conclusion, pour laquelle l'hypothèse réticulaire est inutile.

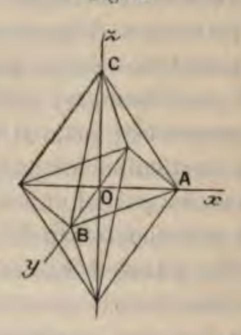
Seulement, lorsque interviennent des axes ternaires, il y a deux cas très différents à distinguer. Pour bien comprendre ceci, il faut définir d'une manière précise les notions d'*holoédrie* et de *mériédrie.*

On présente généralement la notion d'holoédrie et de mériédrie soit comme une simple base arbitraire de classification, soit comme un résultat de la théorie réticulaire, soit comme ne pouvant se définir qu'en ayant recours aux propriétés dites *physiques*, c'est-à-dire autres que celles qu'ex-

prime la loi d'Haüy. D'aucuns même préfèrent la supprimer purement et simplement. Qu'est-elle en réalité ?

Considérons un cristal dont le faisceau partiel a, par exemple, pour éléments de symétrie A^4.C.II. C'est un des 32 modes possibles. Une face quelconque du faisceau, non

Fig. 6.



perpendiculaire à l'axe A^4, a huit symétriques, formant un octaèdre quadratique, forme simple la plus générale de ce type de symétrie.

Nous pouvons toujours prendre, pour définir le faisceau, les trois arêtes OA, OB, OC, avec pour paramètres, par exemple, OA, OB, OC.

Soit alors $(l.m.n)$ une autre face quelconque. Ses symétriques forment encore un octaèdre quadratique dont les faces sont :

$$(1) \qquad \begin{cases} l\,m\,n & l\,m\,\bar{n} \\ \bar{m}\,l\,n & \bar{m}\,l\,n \\ \bar{l}\,\bar{m}\,n & \bar{l}\,\bar{m}\,\bar{n} \\ m\,\bar{l}\,n & m\,\bar{l}\,\bar{n} \end{cases}$$

Dès lors, les faces symétriques de ces huit faces par rapport aux arêtes OA, OB considérées comme axes binaires ont

pour caractéristiques :

$$(2) \quad \left\{ \begin{matrix} l\bar{m}n & l\bar{m}\bar{n} \\ mln & ml\bar{n} \\ \bar{l}mn & \bar{l}m\bar{n} \\ \bar{m}\bar{l}n & \bar{m}\bar{l}\bar{n} \end{matrix} \right.$$

Ces faces peuvent ne pas exister dans le faisceau partiel. Elles ne peuvent même pas exister pour toutes les faces de ce faisceau telles que (l, m, n), car le faisceau aurait alors des axes binaires. Mais ce sont des faces possibles en vertu de la loi d'Haüy. Elles appartiennent en effet au faisceau complet, et, quelles que soient les arêtes OA, OB choisies pour définir le faisceau, on peut toujours fixer la limite L des caractéristiques assez élevée, dans chaque cas particulier, pour que ces faces soient possibles en vertu de la loi d'Haüy. Celle-ci, en effet, implique bien que dans chaque cas il y a une limite L, mais elle en laisse la valeur indéterminée.

Si donc aux huit faces (1) existant dans le faisceau on ajoute les huit faces (2), qui sont des faces possibles en vertu de la loi d'Haüy (et souvent existantes), et si l'on en fait autant pour toutes les formes du faisceau partiel, on réalise un nouveau faisceau qui possède, outre les éléments de symétrie du premier, des axes binaires normaux à l'axe A^4. On sait que ce nouveau faisceau ne peut avoir pour éléments de symétrie que $A^4, 2L^2, 2L'^2, C, \Pi, 2P, 2P'$. Par contre, si l'on part de ce nouveau faisceau, on ne peut plus par aucun moyen, en lui ajoutant des faces conformes à la loi d'Haüy, réaliser un faisceau de symétrie supérieure [1].

---

[1] En admettant que $\frac{OC}{OA}$ est irrationnel, ce qui résulte par exemple de ce qu'il varie d'une manière continue avec la température. $\frac{OC}{OA}$ est *quel-*

Il y a donc, parmi les 32 modes de symétrie possibles pour un faisceau partiel, deux catégories bien différentes. Dans les uns, la symétrie du faisceau peut être augmentée par addition de faces conformes à la loi d'Haüy, donc capables d'exister dans le cristal, et souvent existantes en partie. Dans les autres, la symétrie du faisceau ne peut être augmentée par addition de faces conformes à la loi d'Haüy. Les premiers sont dits *mériédres*, les seconds *holoèdres*. Le faisceau appartenant à l'un des modes mériédres est dit *mériédre*, et holoèdre le faisceau appartenant à l'un des modes holoèdres.

Ainsi *la notion d'holoédrie et de mériédrie n'est autre chose qu'un résultat immédiat de la loi d'Haüy*. Elle ne nécessite ni l'hypothèse réticulaire ni aucune considération sur la structure des cristaux, ni l'intervention d'aucune autre propriété que celle qu'exprime la loi d'Haüy, c'est-à-dire la simple *orientation des faces planes* (*Orientation* étant entendu comme nous l'avons dit plus haut). Elle est bien, si l'on veut, une simple base de classification, mais non arbitraire, en ce sens qu'il n'existe aucune latitude dans le choix de ce que l'on doit appeler holoédries et mériédries, tant que l'on ne fait pas intervenir des théories structurales telles que la théorie réticulaire. Une fois ces théories admises, on pourra bien être conduit à modifier légèrement la définition de l'holoédrie (introduction du sytème ternaire). Mais son fondement nécessaire et suffisant n'en est pas moins dans la seule loi d'Haüy. Elle exprime en somme que toutes faces anciennement connues, récemment découvertes, ou (par induction) à découvrir dans un cristal sont conformes à la loi d'Haüy. En sorte qu'étant donné un cristal dont le faisceau est mériédre, les

---

conque. Le cas où il serait rationnel serait un cas particulier spécial, par exemple, à une certaine température, et qu'il n'y a pas intérêt à distinguer.

faces qui, ajoutées à celle du faisceau, fournissent un faisceau de symétrie supérieure existent souvent en partie, et dans tous les cas doivent être conçues comme pouvant être découvertes d'un jour à l'autre.

Maintenant si, au lieu de s'occuper uniquement des orientations des faces, on considère aussi d'autres propriétés vectorielles, quelles qu'elles soient, la symétrie de l'une ou l'autre de ces propriétés peut être inférieure à celle du faisceau, c'est-à-dire à celle des propriétés discontinues. Dans ce cas la symétrie du cristal est inférieure à celle du faisceau. Si même le faisceau est holoèdre, le cristal est alors mériédre. La symétrie d'un cristal n'est d'ailleurs jamais connue que d'une manière provisoire, puisqu'il restera toujours des propriétés à étudier, dont la symétrie pourra être moindre que celle des propriétés déjà connues. Ce qui est définitif, ce n'est jamais qu'un maximum de symétrie. L'étude des propriétés vectorielles autres que l'orientation des faces pourra donc décider du classement du cristal parmi tel ou tel des 32 groupes de symétrie. Et, puisque l'on n'aura jamais épuisé l'étude de toutes les propriétés, ce classement restera toujours revisable. *Mais, quant à décider si le groupe auquel on attribue le cristal est une holoédrie ou une mériédrie, les propriétés autres que celles qu'exprime la loi d'Haüy n'y sont pour rien.* Elles n'interviennent en aucune façon dans la définition de la *notion* d'holoédrie et de mériédrie, mais seulement dans le classement de tel ou tel cristal parmi les groupes holoèdres ou mériédres.

En résumé : la notion d'holoédrie et de mériédrie résulte de la seule loi d'Haüy. Seule, cette loi suffit à définir celles des 32 symétries que l'on doit qualifier d'holoédries et celles que l'on doit appeler mériédries. Mais la symétrie du cristal étant par définition celle de sa propriété la moins symétrique, le classement du cristal dans l'un ou l'autre des 32 types, c'est-

à-dire parmi les holoédries ou parmi les mériédries, dépend de l'étude de toutes les propriétés, non seulement les propriétés discontinues qu'exprime la loi d'Haüy, mais toutes les autres aussi.

La symétrie du faisceau, comme celle des autres propriétés, n'est jamais qu'un maximum de celle du cristal. Mais, les 32 modes de symétrie possibles pour un cristal en vertu des maxima qu'impose la loi d'Haüy ne différant pas des 32 modes possibles pour un faisceau partiel, il nous suffira de classer en holoédries et mériédries les 32 modes possibles pour un *faisceau*. Nous obtiendrons aussi bien ainsi tous les types de symétrie holoèdre ou mériédre possibles pour un *cristal*.

Tout faisceau partiel holoèdre a un centre. Car si une face $(l.m.n)$ existe dans un faisceau, la face $(\bar{l}.\bar{m}.\bar{n})$ y est possible en vertu de la loi d'Haüy.

De plus, tout faisceau partiel holoèdre a, normalement à un axe d'ordre 4 ou 6, un axe binaire, donc aussi quatre ou six axes binaires. Car le plan normal à un axe d'ordre 4 ou 6 est un plan du faisceau complet, et contient par suite une infinité de groupes de 2 arêtes à 90° ou de 3 arêtes à 120° qui sont des arêtes du faisceau complet (et des axes binaires de ce faisceau). Le faisceau partiel peut être défini au moyen de deux de ces arêtes OA, OB, et de l'axe quaternaire ou sénaire OC. Dès lors, les faces symétriques de celles du faisceau par rapport aux arêtes OA, OB ont des caractéristiques rationnelles. Si l'on ne peut déterminer OA, OB de façon que toutes ces faces appartiennent au faisceau, celui-ci peut être rendu plus symétrique par addition de ces faces. Il n'est donc pas holoèdre. Un faisceau holoèdre a donc nécessairement, normalement à un axe d'ordre 4 ou 6, des axes binaires. Et l'on sait qu'il suffit qu'il en ait un pour qu'il en ait nécessairement 4 ou 6.

Un faisceau partiel holoèdre ne peut posséder un seul axe ternaire qui soit une arête de son faisceau complet. Car un tel axe étant sénaire pour le faisceau complet, si un faisceau partiel possède un tel axe ternaire, il suffit de faire tourner ses faces de 60° autour de l'axe pour obtenir d'autres faces conformes à la loi d'Haüy et qui, ajoutées aux premières, constituent un faisceau plus symétrique. Un faisceau partiel ternaire doit donc être considéré, tant qu'on s'en tient à la seule loi d'Haüy, comme mériédre. Par contre un faisceau partiel holoèdre peut posséder quatre axes ternaires de ce genre. Car si ces axes sont bien encore des axes sénaires pour le faisceau complet, cependant dans ce cas l'addition des faces obtenues par rotation de 60° des faces existantes autour des axes ternaires n'augmente pas la symétrie du faisceau partiel, puisque aucun polyèdre fini qui a plusieurs axes d'ordre supérieur à 2 ne peut avoir d'axe sénaire.

On déduit aisément de ces remarques que, parmi les 32 types de symétrie, les holoédries comportant seulement des axes d'ordre 2, 4, 6 ou des axes d'ordre 3 qui soient des arêtes du faisceau complet sont les suivantes (¹) :

C	$\Lambda^4 . 2 L^2 . 2 L'^2 C . \; \Pi . 2 P . \; 2 P'$
$L^2 . C . P$	$\Lambda^6 . 3 L^2 . 3 L'^2 C . \; \Pi . 3 P . \; 3 P'$
$L^2 . L'^2 . L''^2 . C . P . P' . P''$	$3 \Lambda^4 . 4 \Lambda^3 . 6 \Lambda^2 \; C . 3 \Pi . 4 \varpi^3 . 6 P .$

Ce sont les 6 types d'holoédries connus. Mais ce ne sont pas les seuls possibles en vertu de la loi des troncatures rationnelles. Il reste en effet à ajouter les cas où il existe des axes ternaires irrationnels.

Il peut n'exister qu'un de ces axes. Il y a d'ailleurs un

(¹) L^2, axes binaires qui sont binaires pour le faisceau complet.
Λ^n, axes d'ordre n qui sont d'ordre n et infini pour le faisceau complet.
C, centre. P, Π, plans de symétrie ordinaire. ϖ^n, plan de symétrie alterne d'ordre n.

centre, comme précédemment. Donc, il y a un plan de symétrie alterne d'ordre 3 normal à l'axe ternaire (et qui n'est pas un plan du faisceau complet). Il ne peut exister d'axe binaire normal à l'axe ternaire, car, s'il y en avait un, il en existerait trois. Or tout axe binaire est une arête du faisceau complet. Le plan normal à l'axe serait donc un plan du faisceau complet. Les seuls éléments de symétrie sont donc :

$$\Lambda_1^3. \quad C. \quad \varpi^3.$$

S'il existe plusieurs axes ternaires irrationnels, un polyèdre fini, donc un faisceau partiel, ne peut en posséder que 4 ou 10. Dans le second cas, il y a des axes quinaires, ce qui est impossible dans un faisceau. Il ne peut donc y avoir que 4 axes ternaires. Cela est possible, pour un polyèdre en général, de deux façons : 1° soit avec 3 axes quaternaires et 6 axes binaires; mais alors, les axes binaires étant normaux aux axes ternaires, ces axes ternaires, comme ci-dessus, ne pourraient être irrationnels; 2° soit avec 3 axes binaires trirectangulaires, ce qui est possible. Il n'y a donc qu'un cas possible avec plusieurs axes ternaires irrationnels. Il comprend les éléments suivants :

$$3\Lambda^2. \quad 4\Lambda_1^3. \quad C. \quad 3\Pi. \quad 4\varpi^3.$$

Les 3 axes binaires sont des arêtes du faisceau complet, les 3 plans Π des plans de ce faisceau. Mais les 4 axes ternaires et leurs plans normaux ϖ^3 ne sont pas des éléments du faisceau.

Il y a donc au total, non pas 6, mais 8 holoédries possibles en vertu de la loi d'Haüy énoncée, comme nous l'avons fait, sous sa forme la plus générale. Les deux dernières ont nécessairement une des 32 symétries qui sont seules possibles pour une figure qui n'a qu'un nombre limité d'axes d'ordre 2, 3, 4, 6. Leur groupe de symétrie est donc le même que

celui de 2 mériédries des holoédries précédentes, savoir la parahémiédrie ternaire, qui est, au point de vue auquel nous nous sommes placés, une tétratoédrie sénaire, et la parahémiédrie cubique. Mais elles en diffèrent cependant beaucoup en ce qu'elles sont des holoédries. C'est-à-dire qu'aucune addition de faces conformes à la loi d'Haüy ne peut augmenter la symétrie de faisceaux appartenant à ces types.

Pour les mériédries qui ne comportent que des axes d'ordre 2, 4, 6 ou des axes ternaires rationnels, elles peuvent appartenir à l'un quelconque des 32 types autres que les 6 premières holoédries. Il y en a 26. Ce sont les mériédries connues ; inutile de les énumérer. Chacune d'elles est, par définition, telle qu'un faisceau qui la possède peut être enrichi par des faces conformes à la loi d'Haüy jusqu'à donner un faisceau de symétrie supérieure. Cette symétrie supérieure ne peut être que soit une autre mériédrie, auquel cas elle peut encore être enrichie, soit enfin une des holoédries. Par suite, on peut faire dériver toutes les mériédries des holoédries en supprimant dans celles-ci, de toutes les manières possibles, des éléments de symétrie.

L'ensemble d'une holoédrie et de toutes les mériédries qui en dérivent forme un système cristallin [1].

De même, lorsqu'il y a des axes ternaires irrationnels, il

---

[1] Je laisse de côté ici la question des mériédries d'ordre supérieur. Elle ne se pose pas lorsqu'on prend les choses à partir de l'observation comme nous le faisons. On peut concevoir théoriquement qu'un cristal orthorhombique, par exemple, ait un faisceau rigoureusement quadratique, c'est-à-dire que les paramètres de deux de ses axes binaires puissent être rigoureusement égaux. Mais cela n'est pas vérifiable, car, par définition, le fait ne peut être vérifié que par des mesures d'angles, lesquelles ne sauraient distinguer deux paramètres *rigoureusement* égaux de deux paramètres *à peu près* égaux. Une telle mériédrie ne pourrait être distinguée de la pseudo-mériédrie. La véritable mériédrie est seulement celle où la symétrie du cristal exige que *rigoureusement* le faisceau complet ait une symétrie supérieure.

suffit, pour connaître toutes les mériédries, de partir des 2 holoédries et de supprimer, de toutes les manières possibles, des éléments de symétrie.

La première ne fournit qu'une mériédrie, par suppression du centre et, par suite, du plan de symétrie alterne. Son symbole est

$$A_1^3.$$

La seconde conduit de même à une seule mériédrie, par suppression du centre et, par suite, des plans de symétrie. Son symbole est

$$3\,A^2.\quad 4\,A_1^3.$$

Aucune autre n'est possible, car tant qu'il existe plus d'un axe ternaire, il y en a forcément 4, et 3 axes binaires.

En résumé, la loi d'Haüy, base de la notion d'holoédrie et de mériédrie, en d'autres termes base de la notion de système cristallin, rend possible *huit* holoédries, c'est-à-dire huit systèmes cristallins, qui sont d'abord les six systèmes connus : *anorthique, clinorhombique, orthorhombique, quadratique, sénaire, cubique.*

Puis deux autres que l'on peut appeler : *système ternaire irrationnel* et *système cubique irrationnel.*

Chacun des deux derniers ne comporte qu'une mériédrie, qui est son hémiédrie holoaxe.

Pour compléter ce que nous avons dit de la mériédrie, une remarque est encore nécessaire. Les propriétés discontinues imposent, par la loi d'Haüy, certains maxima de symétrie aux cristaux. En dessous de ces maxima, la matière soumise à la loi d'Haüy reste libre d'adopter l'un ou l'autre des 32 types de symétrie auxquels elle est ainsi restreinte. Soit A le groupe de symétrie d'un cristal, c'est-à-dire celui de sa propriété la moins symétrique. Il appartient à un système dont l'holoédrie est H. Tous les éléments de symétrie de H qui n'appar-

tiennent pas à A ne sont à aucun degré des éléments de symétrie de la matière cristalline. Mais ils jouissent de cette propriété que toute face symétrique d'une face du cristal par rapport à ces éléments est conforme à la loi d'Haüy. C'est-à-dire qu'elle existe ou peut exister dans le faisceau du cristal. On les nomme improprement *éléments de symétrie déficients*, parce que le procédé le plus commode pour trouver les mériédries est de partir des holoédries et d'y supposer supprimés des éléments de symétrie. Mais ce n'est là qu'un procédé de raisonnement. Ces éléments sont, non pas déficients, mais *supplémentaires*. Ce qui est essentiel, primordial, c'est la symétrie du cristal. Cette symétrie étant donnée, si c'est une mériédrie la loi d'Haüy exige que le faisceau (existant ou possible) ait des éléments de symétrie qui n'appartiennent pas au cristal. Ces éléments sont des *éléments supplémentaires du faisceau*. Il en est exactement de même si l'on considère une autre propriété, la transmission de la lumière, par exemple. Les lois qui régissent cette propriété exigent que si le cristal a un axe d'ordre supérieur à 2, cet axe soit, pour les seules propriétés optiques, un axe de révolution, et ait, pour ces propriétés seules, une infinité d'axes binaires perpendiculaires à cet axe de révolution. On ne songerait pas à appeler *axe binaire déficient du cristal* une droite quelconque du plan normal à l'axe optique. On ne peut considérer cette droite que comme un *axe binaire supplémentaire qui n'existe que pour les propriétés optiques*.

La même chose a lieu pour les propriétés discontinues qu'exprime la loi d'Haüy. Étant donnée la symétrie du cristal, elles comportent parfois, de par leur nature même, des éléments de symétrie supplémentaires qui sont particuliers à ces seules propriétés. Ce sont ces éléments que l'on qualifie d'*éléments déficients*.

Ces éléments déficients sont parfois, de par la position

des éléments de symétrie du cristal, complètement définis. Ainsi, lorsqu'un cristal n'a que trois axes binaires trirectangulaires, le centre et les trois plans passant par les axes pris deux à deux sont éléments déficients et il n'y en a point d'autres possibles. Mais dans d'autres cas, ainsi qu'on l'a vu plus haut par l'exemple de la parahémiédrie quadratique, ces éléments déficients, ou certains d'entre eux, restent indéterminés, bien que la nature mériédre du cristal soit parfaitement définie. Dans un cristal ayant la parahémiédrie quadratique, rien n'indique, tant qu'on s'en tient à la loi d'Haüy sous sa forme la plus générale, quels sont ceux des groupes de rangées rectangulaires du plan normal à l'axe quaternaire que l'on doit considérer comme axes binaires déficients. Ceci a lieu dans tous les cas où il existe un axe principal, sans plans de symétrie passant par cet axe ni axes binaires normaux à cet axe. C'est-à-dire pour les huit mériédries suivantes :

Λ^6 C Π	Λ^6	Λ^3 Π
Λ^3 C ϖ^3	Λ^4	Λ^2 ϖ^2
Λ^4 C Π	Λ^3	

Dans tous les 18 autres cas, les éléments déficients sont complètement définis par la seule loi d'Haüy. Pour ces huit cas, elle exige leur existence, mais les laisse indéterminés. L'hypothèse réticulaire, ou simplement la loi de Bravais, en transformant légèrement la définition de la mériédrie, viendront préciser leur position. Mais il était utile de constater que, dans beaucoup de cas, elles ne sont même pas nécessaires pour cela. Elles ne sont pas nécessaires pour définir la mériédrie ; elles ne le sont même pas, dans beaucoup de cas, pour spécifier les éléments déficients.

Quels sont maintenant les caractères auxquels on recon-

naîtrait, s'ils existaient, des cristaux appartenant au système ternaire irrationnel ou au système cubique irrationnel?

Pour les premiers, l'axe ne peut être une arête du faisceau complet, ni le plan normal un plan de ce faisceau. Par suite il ne peut exister ni prismes ni base. Dans l'holoédrie, la seule forme simple possible est le rhomboèdre. Dans l'hémiédrie, elle se réduit à trois faces. Si l'on prend pour axes de coordonnées les trois arêtes de l'un de ces rhomboèdres ou trièdres, les autres formes connues ne pourront jamais s'exprimer, en prenant pour ces axes des paramètres égaux ou rationnels, qu'au moyen de caractéristiques irrationnelles. Pour pouvoir attribuer aux faces connues des caractéristiques entières simples, il faudra prendre pour les trois axes des paramètres irrationnels, mais dont les cubes et le produit soient rationnels. Toutefois, il est bien évident que ce dernier caractère n'aura rien d'absolument démonstratif. Il pourra être frappant que l'on simplifie beaucoup les caractéristiques des faces connues en choisissant un tel système de paramètres. Mais même dans ce cas il sera toujours possible, dans les limites de précision des mesures, de conserver, comme pour les cristaux ternaires habituels, trois paramètres égaux, quitte à attribuer des caractéristiques compliquées aux faces connues. Ce qui, semble-t-il, caractériserait surtout de tels cristaux, ce serait l'absence des prismes et de la base.

Pour le système cubique irrationnel, de même, seraient impossibles: d'abord l'octaèdre, comme ayant ses faces normales aux axes ternaires.

Les diagonales des faces du cube, axes binaires de l'holoédrie cubique ordinaire, ne peuvent être des arêtes du faisceau. car il y en a trois dans chacun des plans normaux aux axes ternaires, plans qui ne peuvent être des plans du faisceau. Par suite, sont impossibles les trapézoèdres et trioctaèdres, dont deux faces se coupent suivant des arêtes parallèles à ces

directions. Est impossible aussi le dodécaèdre rhomboïdal comme ayant ses faces normales à ces mêmes directions. Les seules formes possibles dans l'holoédrie seraient donc : des parahémihexoctaèdres, des parahémihexatétraèdres (dodécaèdres pentagonaux), enfin le cube. Les formes seraient analogues à celles de la pyrite, mais avec ces différences saillantes :

1° L'absence de l'octaèdre, du dodécaèdre rhomboïdal, des trapézoèdres et trioctaèdres.

2° Les angles, sauf ceux du cube, seraient tous différents de ceux des formes de même symétrie du système cubique ordinaire. Prenons pour axes de coordonnées les trois axes binaires trirectangulaires parallèles aux arêtes du cube, qui sont des arêtes du faisceau complet. On pourrait trouver, par exemple, des dodécaèdres pentagonaux analogues au pyritoèdre (**012**) habituel, mais dans lesquels l'angle de deux faces adjacentes ne serait aucun de ceux qui correspondent aux caractéristiques entières simples (**012**), (**023**), (**013**), etc. Si l'on prenait, comme d'habitude, sur les trois axes des paramètres égaux, l'angle (sur p) de deux faces du dodécaèdre (**0**mn), au lieu d'être tel que $m:n$ fût rationnel, serait tel seulement que $m^3:n^3$ fût rationnel; tel par exemple que $m^3:n^3 = 2$. Et pour aucune des formes $m:n$ ne pourrait être rationnel. Le pyritoèdre (**012**) par exemple serait impossible. De même l'hexoctaèdre (**123**), etc.

Ici encore ce caractère ne serait pas absolument décisif, puisque la latitude des erreurs de mesure permettrait toujours de garder les paramètres égaux, quitte à donner des caractéristiques compliquées aux formes connues. On n'hésiterait guère sans doute à remplacer $m^3:n^3 = 2$ par $m:n = \frac{5}{4}$ par exemple. Toutefois ce serait un caractère bien frappant, semble-t-il, que de ne trouver dans un cristal ayant la symétrie de la pyrite qu'une seule des formes habituelles du système

cubique, savoir le cube, et jamais ni octaèdre, ni dodécaèdre rhomboïdal, trapézoèdre ou trioctaèdre, ni parmi les hexatétraèdres et hexoctaèdres ceux qui, dans les cristaux cubiques habituels, correspondent aux caractéristiques entières les plus simples et sont de beaucoup les plus fréquents. Dans l'hémiédrie holoaxe, mêmes impossibilités. Les hémihexatétraèdres resteraient du même type que dans l'holoédrie, le cube subsisterait aussi. Seuls les hexoctaèdres seraient réduits à 12 faces.

Existe-t-il des cristaux de ces deux systèmes? Cela est infiniment peu probable d'après tout ce que nous savons. La fréquence de la base ou des prismes dans la majorité des cristaux ternaires, la simplicité évidente des caractéristiques de la plupart des faces lorsqu'on attribue aux trois arêtes d'un rhomboèdre des paramètres égaux; dans le système cubique, la constance des formes dont les caractéristiques sont très simples si l'on attribue aux arêtes du cube des paramètres égaux, la présence de l'octaèdre ou du dodécaèdre rhomboïdal, etc.; tout cela permet de conclure d'une manière presque certaine que jusqu'ici l'on ne connaît aucun cristal dont le faisceau appartienne à l'un de ces types.

En résumé, la loi d'Haüy ne suffit pas pour réduire le nombre des types cristallins holoédriques à ceux qui sont réellement connus. Elle rend possibles deux holoédries qui en réalité n'existent pas. Or on sait que l'hypothèse réticulaire n'est compatible qu'avec les six premiers types d'holoédries, ceux précisément qui sont connus dans les cristaux. C'est donc que l'hypothèse réticulaire ajoute quelque chose à la loi d'Haüy. Ce quelque chose, c'est ce fait d'observation que les deux systèmes cristallins qui comportent des axes ternaires irrationnels sont inconnus. C'est un fait négatif, donc provisoire et revisable par des observations nouvelles. Mais on voit que l'hypothèse réticulaire est suspendue à ce fait. Si l'on

découvrait un cristal qui appartînt sûrement à l'un de ces deux systèmes, l'hypothèse du réseau ne pourrait être conservée.

On voit par là que non seulement la structure périodique de la matière cristallisée n'est pas un résultat nécessaire de l'anisotropie et de l'homogénéité, et nécessite à sa base les propriétés discontinues telles que les définit la loi d'Haüy; mais qu'encore elle implique un autre fait expérimental sans lequel on n'aurait pas le droit de remplacer la recherche des modes de symétrie des faisceaux par celle des modes de symétrie des réseaux, comme on le fait habituellement. Ce fait peut s'exprimer sous les formes suivantes, équivalentes :

Il n'y a aucun cristal qui possède des axes ternaires irrationnels. Ou encore, sous une forme moins spéciale : tout axe de symétrie d'un cristal est une arête de son faisceau, existante ou possible en vertu de la loi d'Haüy. Ou, ce qui revient au même, tout plan normal à un axe est une face du faisceau du cristal, existante ou possible en vertu de la loi d'Haüy.

Ou encore, sous une forme qui conduit plus évidemment à l'hypothèse du réseau : deux arêtes d'un cristal, symétriques par rapport à un axe de symétrie et que, par suite, on ne peut en rien distinguer l'une de l'autre, ont des paramètres en rapports rationnels. C'est-à-dire que l'on peut toujours prendre ces paramètres égaux. Ce qui permet alors de concevoir le paramètre comme étant un coefficient physique propre à chaque arête, et qui est le même, ainsi que toutes les autres propriétés physiques, pour deux arêtes symétriques. Cela autorise à attribuer une matérialité au paramètre.

Ou enfin, forme plus proche encore de l'hypothèse réticulaire : tout faisceau de faces d'un cristal non seulement répond à la loi d'Haüy, mais encore est tel que parmi les réseaux qui peuvent servir à le définir il en existe un qui a

au minimum la symétrie du faisceau. On peut toujours choisir un réseau qui possède tous les éléments de symétrie du faisceau, et par suite du cristal.

L'hypothèse de la structure périodique ajoute à la loi d'Haüy, qui implique elle-même l'anisotropie et l'homogénéité, ce fait d'observation indépendant. Elle n'est assurément pas pour cela *démontrée* vraie. Mais elle acquiert une beaucoup plus grande valeur par le fait qu'elle réunit ainsi deux faits d'observation complètement indépendants.

D'autres faits, d'ailleurs, sans en résulter nécessairement en vertu de raisonnements logiques, s'interprètent si naturellement par elle que son degré de vraisemblance en est encore accru. Tel est le fait si remarquable que tous les plans et droites mis en évidence par les propriétés discontinues appartiennent au même faisceau, ou, si l'on veut, sont des plans réticulaires et rangées du même réseau ou de réseaux multiples. Faces extérieures et arêtes, plans et droites de clivage, plans et axes de macle et de glissement ont pu être, dans ce qui précède, compris indifféremment dans le faisceau. Ce qui conduit très naturellement à attribuer une matérialité au réseau qui les définit.

Telle est aussi la loi de Bravais, forme précisée de la loi d'Haüy et qui ne peut s'exprimer qu'à condition de recourir à un réseau. Elle n'implique pas, assurément, la *nécessité* d'attribuer à ce réseau une existence dans le cristal, et n'étant qu'une loi d'observation reste indépendante de toute hypothèse. Mais tout au moins est-elle bien remarquablement d'accord avec l'hypothèse que ce réseau qu'elle détermine en général avec une parfaite précision est en rapport immédiat avec la distribution de la matière du cristal.

Ajoutons enfin qu'une fois l'hypothèse réticulaire ainsi légitimée, ou même, sans faire cette hypothèse, en introduisant simplement la loi de Bravais, il devient naturel de

modifier la notion d'holoédrie et de mériédrie d'une manière telle que, le principe en restant le même, elle prenne un sens plus immédiatement en rapport avec la notion de réseau.

On appellera holoèdres les cristaux qui ont même symétrie que leur réseau, mériédres ceux qui ont une symétrie moindre. Ce qui introduit comme holoédrie la symétrie ternaire, laquelle est possible pour un réseau mais impossible pour un faisceau complet. La considération d'une holoédrie ternaire ne présente que des avantages parce qu'elle correspond, grâce à la loi de Bravais, à un fait physique qui est la distinction très nette que cette loi nous permet de faire entre deux types de cristaux ternaires : ceux qui sont holoèdres, et ceux qui ne sont ternaires que par mériédrie sénaire. Ce n'est que lorsqu'on s'en tient, comme nous l'avons fait ci-dessus, à rechercher les conséquences de la loi d'Haüy sous sa forme la plus générale que l'on ne peut considérer la symétrie ternaire comme une holoédrie. En modifiant l'énoncé de cette loi, on modifie par là même et simultanément la notion de mériédrie qui en est le résultat immédiat.

Minéraux nouveaux;

Par M. Paul Gaubert.

Souesite. — Alliage de fer et de nickel trouvé dans les sables aurifères de Fraser, à deux miles de Lillooet, Lillooet district (Colombie britannique). Il se présente en grains arrondis, d'éclat submétallique et de couleur gris d'acier jaunâtre, associés à des écailles de platine, à des grains d'iridosmine et d'or natif, à des petits cristaux arrondis de magnétite, à quelques grains d'ilménite, de quartz et de

grenat. Les grains de souesite, toujours très petits (les plus volumineux ne dépassent pas $1^{mm},5$ de diamètre), forment 47 pour 100 de sable et le platine 43 pour 100.

Cet alliage a une densité de 8,215 à 15°,5 C. Il est légèrement soluble dans l'acide chlorhydrique à froid et complètement à chaud.

L'analyse faite par M. F. G. Wait a donné les résultats suivants :

Ni 75,50; Fe 22,02; Cu 1,20. Partie siliceuse insoluble, 1,16;
Total : 99,88.

La matière siliceuse étant déduite, on a

Ni 76,48; Fe O 22,30; Cu 1,22. Total : 100.

Des fers nickelifères ont été déjà trouvés en Nouvelle-Zélande (awaruite) et près de Biella (Piémont); l'un et l'autre, surtout le premier, contiennent plus de fer et moins de nickel que la souesite, qui a été dédiée à M. F. Soues (G.-C. Hoffmann, *Am. J. of Sc.*, vol. XIX, 1905, p. 319).

Artinite. — Minéral décrit sous le nom de *nouveau carbonate de magnésie hydraté* et dont une description sommaire a été publiée dans ce *Bulletin*, t. XX, 1899, p. 183. Il se trouve dans une roche voisine de la dunite, formée d'olivine, d'antigorite et de beaucoup de magnétite. Une quantité suffisante de matière a été trouvée, pour que l'analyse puisse être faite, dans la carrière d'amiante de Lanterna (Valteline). Les résultats ont été les suivants, l'eau étant dosée par différence :

	I.	Calculé d'après la formule $MgCO^3, Mg(OH)^2, 3H^2O$. II.
Mg O	41,34	40,82
CO^2	22,37	22,45
H^2O (Diff.)	36,24	36,73

La formule $MgCO^3, Mg(OH)^2, 3H^2O$ représente donc ces résultats.

L'artinite forme des agrégats à structure zonée, composés de petits prismes qui paraissent appartenir au système monoclinique et être prismatiques suivant l'axe *b*. Ces prismes s'éteignent par conséquent toujours à 0°. La direction d'allongement est habituellement positive et quelquefois aussi négative. Le plan des axes optiques lui est perpendiculaire. Les prismes à allongement positif montrent un axe optique incliné à 45° et les prismes négatifs une bissectrice négative avec $2E > 90°$. Les indices de réfraction mesurés par comparaison à ceux de liquides connus sont environ

$$n_p = 1,49; \qquad n_g = 1,55.$$

Ce minéral a été dédié à M. Artini. (L. Brugnatelli, *Rend. R. Instit. Lombardo di Sc. e Lett. Milan*, t. XXXV, 1902, p. 869.)

Le Secrétaire gérant :
Maurice BLONDEL.

36297 Paris. — Imp. Gauthier-Villars, 55, quai des Grands-Augustins.

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE.

ANNÉE 1905. — BULLETIN N° 4.

Compte rendu de la Séance du 13 avril 1905.

PRÉSIDENCE DE M. FRÉD. WALLERANT.

M. VON LANG, professeur à l'Université de Vienne, assiste à la séance.

M. le PRÉSIDENT prend la parole en ces termes :

« Je suis sûr d'être votre interprète à tous en souhaitant la
» bienvenue à M. Von Lang, professeur à l'Université de
» Vienne. Bien entendu, M. Von Lang est ici chez lui,
» puisqu'il est Membre honoraire de notre Société depuis de
» longues années, et en le saluant, je veux simplement expri-
» mer le regret que l'éloignement nous empêche de le voir
» plus souvent.

» Après cette mission agréable, j'en dois remplir une autre
» bien pénible ; celle de vous annoncer officiellement la mort
» de notre pauvre collègue et ami, M. H. Dufet, que nous avons
» enterré ce matin. M. de Lapparent a bien voulu représenter

» notre Société à ses obsèques et retracer sa carrière scien-
» tifique. Je ne vous parlerai pas de ses travaux, vous les
» connaissez comme moi, et ils feront d'ailleurs l'objet d'une
» Notice insérée dans le *Bulletin*. Mais permettez-moi de rap-
» peler combien il était désintéressé ; il aimait la science
» pour la science, et il poussait la modestie si loin qu'il se
» refusait à vulgariser ses travaux qui, par suite, n'étaient
» connus que des lecteurs de notre *Bulletin*. Sous une écorce
» un peu rude M. H. Dufet cachait une grande délicatesse de
» sentiments, un dévouement absolu à ses amitiés ; aussi
» le regretterons-nous vivement à double titre, et comme
» minéralogiste et comme ami. »

M. Wallerant fait une communication sur l'*Isodimorphisme des azotates de thallium et d'ammonium.*

Discours prononcé par M. de Lapparent aux obsèques de M. Dufet.

C'est un devoir, pour la Société française de Minéralogie, que M. Dufet présidait il y a trois mois à peine, de dire, en face de cette tombe si prématurément ouverte, combien nous nous sentons frappés par la perte d'un des membres qui honoraient le plus notre association et contribuaient le plus efficacement à sa renommée.

M. Dufet était un de ces ouvriers de la première heure qui, en 1878, songèrent à réclamer pour la Minéralogie une place distincte au soleil des sociétés savantes. Il appartenait à ce groupe de fondateurs, dont la mort a déjà fauché près de la

moitié, et nul n'a tenu plus fidèlement que lui l'engagement de démontrer par son activité scientifique combien cette création était justifiée.

Je l'entends encore, il y a vingt-sept ans, exposer pour ses débuts, avec sa clarté coutumière, les belles recherches où il a fait connaître la relation si simple qui unit l'indice de réfraction des mélanges isomorphes aux indices des composants et à leurs proportions moléculaires.

Depuis lors, plus de quarante Notes ou Mémoires, insérés dans nos publications, sont venus témoigner de son infatigable activité. Après avoir épuisé, on peut le dire, la question de l'isomorphisme, on le voit étudier l'action de la chaleur sur les propriétés optiques de divers minéraux, déployant une habileté de physicien qui lui permet de déterminer avec sûreté des différences portant sur la sixième, parfois même sur la neuvième décimale. Il découvre les corrections que doit subir la loi de Gladstone, et la différence tranchée qui, à ce point de vue, sépare les liquides des solides. Ensuite, dans une précieuse série de Notes cristallographiques, il s'attache à déterminer les constantes optiques et les paramètres d'une foule de minéraux ou de produits de laboratoire, qui, par la limpidité et la netteté de leurs cristaux, se prêtent à ces mesures de précision où il était passé maître. Chemin faisant, pour l'examen des cristaux de petites dimensions, il imagine un ingénieux microscope, qui le mettra bientôt à même d'étudier la dispersion des axes dans quelques cristaux clinorhombiques. Après quoi il se livre à d'importantes recherches sur la réflexion totale, et met en lumière les modifications parfois assez profondes que le polissage inflige à certains minéraux.

Maniant avec une égale aisance les appareils de physique et les formules analytiques, M. Dufet a voulu simplifier, pour ceux que ne rebuteraient pas les exercices où excellait sa

patience, les calculs cristallographiques dans le cas d'axes conjugués obliques. C'est ainsi qu'il y a deux ans il nous faisait connaître une ingénieuse méthode pour éviter l'emploi des formules si difficiles de la trigonométrie sphérique.

En parcourant ce Mémoire, on est presque effrayé à la vue des exemples nombreux et topiques, par lesquels il a tenu à appuyer son exposé. Et pourtant qu'est-ce que ce travail, auprès de celui qu'a dû lui coûter son recueil de données numériques sur les constantes optiques, fruit de six années d'un labeur sans relâche, et qui lui vaudra, s'il y a une justice en ce monde, l'éternelle gratitude des spécialistes?

Enfin, quand déjà il se sentait en proie à la cruelle maladie qui allait nous l'enlever, il trouvait encore la force de donner à notre Société une Note vraiment capitale sur la polarisation rotatoire dans les cristaux biaxes. Il n'avait fallu rien moins que son habileté consommée pour rendre visible et mesurable un phénomène si difficile à constater, en tranchant du même coup le débat qui divisait les théoriciens relativement à l'influence de la direction.

Chez M. Dufet, la conscience du savant était à la hauteur de son mérite. Travailleur acharné, il employait trop bien son temps dans le laboratoire pour en vouloir distraire une parcelle en vue de démarches, qui peut-être eussent mieux servi ses intérêts de carrière. Peu soucieux des synthèses faciles, qui souvent font plus de bruit que d'utile besogne, il s'attachait aux recherches de précision, satisfait de penser que chacun de ses travaux fixait d'une façon définitive quelque donnée numérique sur laquelle on pourrait travailler avec fruit. L'estime de ses pairs lui suffisait, doublée qu'elle était de l'universelle sympathie que sa droiture, sa cordialité et son désintéressement lui avaient conquise.

Aussi est-ce un devoir étroit, pour les témoins de sa vie scientifique, de proclamer bien haut la valeur de ce savant,

que la spécialité de ses recherches et son horreur du bruit ont tenu trop éloigné de la faveur publique. C'est ce que je fais aujourd'hui, devant sa famille si profondément affligée, mais qui a le droit d'être fière de lui, en apportant à notre cher et ancien président, de la part de ses confrères de la Société française de Minéralogie, qui tous étaient ses amis, un dernier et douloureux adieu. Puisse-t-il être dès à présent en possession de la paix suprême, promise aux hommes de bonne volonté, et que nul, à ce titre, n'aura méritée mieux que lui!

Sur les états cristallins du soufre;

Par M. Paul Gaubert.

Le soufre est de tous les corps polymorphes celui qui se présente sous les états cristallins les plus nombreux. On en connaît actuellement au moins huit et, les difficultés qu'il y a, à mettre en évidence l'existence de la plupart d'entre eux et leur instabilité, permettent de supposer que ce nombre n'est nullement définitif.

D'après M. R. Brauns, auquel on doit le dernier travail sur les divers états cristallins du soufre, on doit distinguer :

1° Le soufre orthorhombique, existant dans la nature, le seul stable à la température ordinaire et qui est le produit de transformation de tous les autres;

2° Le soufre monoclinique de Mitscherlich, stable à une température qui n'est pas trop éloignée du point de fusion; toutes les autres formes passent à cette modification à cette température;

3° Le soufre nacré, découvert par Payen et dont les constantes cristallographiques ont été déterminées par

MM. Muthmann et Bruhns. Il a été probablement aussi observé par Pasteur, qui l'a confondu avec le soufre monoclinique de Mitscherlich, comme je le montrerai plus loin;

4° Le soufre, probablement monoclinique, découvert par M. Muthmann;

5° Le soufre rhomboédrique de M. Engel.

Toutes ces modifications ont été obtenues en cristaux isolés et les constantes cristallographiques ont été déterminées très exactement pour les trois premières. Les suivantes n'ont été préparées que sur une lame de verre par M. R. Brauns et, bien qu'elles aient des propriétés optiques bien distinctes, le système cristallin ne peut pas être déterminé avec sûreté;

6° Le soufre orthorhombique radié peu biréfringent;

7° Le soufre monoclinique radié correspondant, peut-être, au soufre nacré, obtenu par voie sèche, de M. Gernez;

8° Le soufre trichitique, probablement triclinique ([1]).

On verra plus loin qu'il faut ajouter encore une autre modification.

Le soufre cristallise dans ces différents systèmes :

1° Par évaporation, à une température déterminée, d'une solution saturée de ce corps;

2° Par solidification d'une masse fondue. Les formes qui se produisent ainsi dépendent de la température à laquelle le soufre a été porté, de la durée de l'action de cette dernière et de la vitesse de refroidissement;

3° Par condensation de la vapeur. Les conditions de température agissant dans les cas précédents, interviennent ici et dans les deux modes suivants de production;

4° Par précipitation chimique du soufre de certains composés sulfurés;

([1]) C. Friedel a mentionné sommairement une forme triclinique obtenue accidentellement sur un bain de soufre (*Bull. Soc. Chim.*, t. XXXII, 1879, p. 14.)

5° Par la transformation d'une modification cristallisée ou amorphe.

Le même état du soufre peut être produit de diverses manières et parfois, dans les mêmes conditions, il se forme à la fois plusieurs modifications.

Ces diverses formes peuvent être distinguées, les unes des autres, par leurs propriétés cristallines, s'il s'agit des cinq premières, toutes par leurs propriétés optiques et par la facilité avec laquelle elles passent au soufre orthorhombique α ou au soufre monoclinique β.

La densité, qui serait un excellent cri'erium, ne peut pas être déterminée pour la plupart des modifications et les indices de réfraction, encore beaucoup plus précieux, n'ont été malheureusement mesurés que pour le soufre α. Mais la biréfringence, le signe d'allongement, la valeur approximative de l'angle des axes optiques, le polychroïsme, serviront à caractériser les diverses modifications.

Évidemment ces caractères doivent être examinés avec beaucoup d'attention, car les observations ont été faites sur des plages cristallines, produites sur une lame de verre et dont l'orientation peut être quelconque. Cependant, comme les cristaux d'une substance ont une tendance à se développer suivant la même face, à s'allonger suivant le même axe cristallographique ou les mêmes arêtes, l'étude des faces d'aplatissement fournit des caractères suffisants pour les distinguer les unes des autres et par conséquent pour déterminer à quelle variété elles appartiennent.

Pour étudier les propriétés optiques de ces faces, je me suis servi dans beaucoup de cas de la grande platine de Fedoroff avec laquelle une section peut, dans une certaine mesure, être amenée perpendiculairement à un axe optique, à une bissectrice, etc. L'angle de rotation maximum de la platine, dans l'examen en lumière convergente, dépend des dimen-

sions du cristal et de l'objectif employé. Avec le microscope et l'oculaire 5 de Nachet, la plaque peut être tournée de 25°. Une petite lentille, placée au-dessous et au centre de la platine, m'a permis de faire des observations en lumière convergente, ce qui est très utile, car plusieurs faces d'aplatissement montrent, dans le champ du microscope, un axe optique ou une bissectrice.

Je vais passer en revue les caractères des différentes modifications à l'exception de celles du soufre rhomboédrique de Engel et de la quatrième modification de Muthmann. Je n'ai nullement l'intention de faire une monographie complète, je n'ai pour but que de signaler quelques caractères distinctifs. Les cristaux, obtenus d'une solution ou produits par fusion sur une lame de verre, se montrent sous des aspects excessivement variés, dont la plupart me paraissent absolument dénués d'intérêt tant que les causes de leur formation ne seront pas déterminées (¹).

Soufre rhombique α.

Ce soufre, produit par évaporation d'une solution, se présente habituellement en octaèdres limités par les faces $b^{\frac{1}{2}}$. C'est ainsi qu'il est déposé par le sulfure de carbone, le chloroforme, le bromoforme, etc. Parfois les cristaux sont allongés suivant l'axe vertical *c* et ont alors l'apparence d'aiguilles ou de bâtonnets terminés en pointe. L'aplatissement des cristaux peut se faire suivant la face $b^{\frac{1}{2}}$. La forme $b^{\frac{1}{2}}$ qui se

(¹) L'étude des différents états cristallins du soufre a intéressé plusieurs savants et de nombreux travaux ont été publiés. M. R. Brauns en a donné la liste au commencement de son travail : *Beobachtungen über die Krystallisation des Schwefels aus seinem Schmelzfluss.* Neues Jahrbuch f. Min. und geol. Beilage, Bd. XIII, 1899-1900, p. 39. 7 planches photographiques. Il est inutile de la publier de nouveau.

produit toujours quand la cristallisation est rapide et qui paraît être indépendante du milieu ambiant, est la forme fondamentale du soufre rhombique. Les cristaux formés lentement montrent souvent la face g^1 (010), facilement reconnaissable par le fait qu'elle est parallèle au plan des axes optiques. Pour la détermination des faces sous le microscope, il est en effet utile d'employer les propriétés optiques et par conséquent de rappeler ces dernières. Le plan des axes est dans g^1, la bissectrice aiguë n_g est parallèle à l'axe c et l'angle 2V est égal, d'après les mesures de Des Cloizeaux, à 69°,5.

Les indices sont les suivants pour la raie D:

$n_g = 2,24052$ Schrauf.
$n_m = 2,03832$
$n_p = 1,95067$

Parmi les différentes faces d'aplatissement qu'on peut observer, celles qui sont de beaucoup les plus fréquentes et qui sont caractéristiques, il faut remarquer g^1, $b^{\frac{1}{2}}$, p et quelquefois h^1.

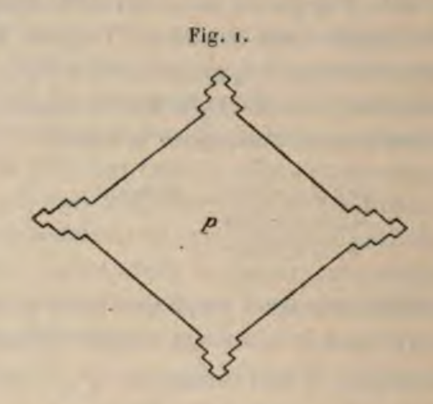
On obtient des cristaux de soufre, aplatis suivant la face p (001), en chauffant le corps dans le tétrabromure d'acétylène bouillant et en laissant refroidir très lentement.

Il se produit d'abord des cristaux monocliniques du soufre β, ensuite du soufre nacré γ et finalement α, quelquefois aplatis suivant p. En lumière convergente on voit l'image caractéristique des cristaux perpendiculaire à une bissectrice qui est ici n_g.

Les cristaux que j'ai obtenus sont tout à fait minces et sont plus épais au milieu que sur les bords, de telle sorte qu'en lumière parallèle on voit une série d'ellipses; celle qui est sur les bords a la teinte grise et les autres présentent toutes les couleurs successives des corps biréfringents taillés en biseau.

Le centre, dans les cristaux obtenus, ne dépasse pas les teintes du quatrième ordre. La biréfringence de la face p étant très élevée [$n_m - n_p = 0,08765$], ces cristaux sont donc très aplatis. Ils présentent un fait assez curieux. A la fin de la cristallisation, la quantité de matière dissoute étant très faible, ils ne s'accroissent que sur les quatre angles.

Fig. 1.



de sorte que les cristaux ont la forme représentée par la figure 1.

Les cristaux, obtenus sur une lame de verre, sur laquelle une goutte de liquide saturé de soufre a été déposée et qui est recouverte d'une lamelle, présentent surtout les formes $b^{\frac{1}{2}}$, h^1, g^1 et p. La face $b^{\frac{1}{2}}$ très biréfringente est tout à fait oblique aux axes optiques et aux bissectrices et par conséquent elle ne donne rien de précis en lumière convergente.

On observe fréquemment une face voisine d'un axe optique et l'angle dont il faut tourner la lame montée sur la platine de Fedoroff, pour mettre l'axe au centre, est de 20°20′ environ, ce qui fait que l'angle réel est approximativement de 9°49′.

Le soufre orthorhombique peut être aussi obtenu par fu-

sion ([1]), la cristallisation se fait à basse température ou si l'on ajoute des germes de ce soufre.

Soufre monoclinique β.

Les cristaux, obtenus par fusion sur une lame de verre, présentent les formes habituelles et sont très aplatis, à cause du couvre-objet, suivant les faces m(110), h^1(100), h^3(210) et p(001). On observe les macles suivant e^1 et h^1. Toutes ces faces sont faciles à distinguer les unes des autres par l'examen des propriétés optiques: p et h^1, appartenant à la zone de symétrie, ont une extinction à 0°, aussi sont-elles les plus commodes à reconnaître, les autres faces s'éteignant obliquement. L'examen en lumière convergente permet de déterminer p et h^1. En effet l'une et l'autre montrent un axe optique dans le champ du microscope, mais cet axe est inégalement éloigné du centre. Pour amener en coïncidence avec ce dernier l'axe d'une face p, il faut tourner la platine de Fedoroff portant la plaque de 16°30′ alors qu'une rotation de 25° est nécessaire pour l'axe optique visible par la face h^1.

Un autre caractère, qui permet aussi de distinguer les faces, c'est la biréfringence, qui naturellement ne peut être utilisée que si la couche de soufre est très mince. La face p montre la biréfringence la plus faible, ensuite viennent h^1, h^3 et m.

Les cristaux aplatis suivant h^3 s'éteignent à 30° par rapport à l'arête $h^1 h^3$, alors que ceux qui sont aplatis suivant m ont un angle d'extinction de 44° par rapport à l'arête mm (110) ($\bar{1}$10). En outre l'examen en lumière convergente fournit encore des caractères. La face h^3 montre un axe optique très oblique, alors que la face m ne donne rien.

([1]) SCHUTZENBERGER, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XVI, 1868, p. 746.

D'une solution dans l'essence de térébenthine ou dans le tétrabromure d'acétylène, on peut obtenir de beaux cristaux, si la cristallisation commence à se faire à une température élevée. Pour réussir, le mieux est de laisser un reste de soufre fondu qui, par refroidissement, donne des cristaux monocliniques, pouvant s'accroître ensuite aux dépens du soufre en solution. Les cristaux présentent dans ce cas trois types : ils sont allongés suivant l'axe vertical, ou bien, sont en lames aplaties, soit suivant la face p, soit suivant h^1. Ces lames aplaties, examinées en lumière convergente, montrent un axe optique dans le champ du microscope, comme les préparations obtenues sur une lame de verre. Ce caractère est important, car il permet de les distinguer des lames de soufre nacré préparées aussi d'une solution chaude d'essence de térébenthine. J'ai pu faire quelques mesures sur ces cristaux monocliniques β, obtenues d'une solution. J'ai trouvé :

mm (110) (1$\bar{1}$0)........................	89°22′
mp (110) (001)..	85°45′

assez voisins de ceux qui ont été trouvés par Mitscherlich et par M. Muthmann (¹).

Les cristaux aplatis suivant h^1 et suivant p montrant un axe optique en ramenant ce dernier au centre, l'angle des axes peut être déterminé approximativement. Il pourrait l'être avec précision, si l'indice moyen de ce soufre était connu. Cet angle est de 58° environ, ce qui correspond à un angle d'extinction de 44 sur g^1.

Soufre γ.

Cette modification a été obtenue en cristaux mesurables

(¹) W. Muthmann, *Zeitsch. f. Kryst.*, t. XVII, 1890, p. 345.

par MM. Muthmann et Bruhns (¹), qui ont observé les formes g^1, face d'aplatissement, h^3(210), h^1(100) peu développé, $d^{\frac{1}{2}}$(111), e^2 (012). Les paramètres sont

$$a : b : c = 1,06094 : 1 : 0,70944, \qquad \beta = 88^\circ 13'.$$

Les cristaux sont allongés suivant l'axe vertical. Ils sont obtenus de solutions chaudes (70°).

M. Muthmann a constaté qu'on obtenait ces cristaux par évaporation sur une lame de verre d'une goutte liquide saturée de soufre et ayant été portée à 150° et refroidie rapidement. Cet auteur a montré qu'on préparait les plus beaux cristaux en opérant de la façon suivante : à une solution alcoolique, saturée de sulfure d'ammonium, on ajoute un excès de soufre pur et finement pulvérisé et l'on agite fortement. Après avoir filtré le liquide, coloré en rouge foncé, on dilue avec un peu d'alcool et on laisse ce dernier dans une éprouvette assez haute et légèrement bouchée. Au bout de peu de temps le liquide se décolore et les cristaux se déposent à la surface. Ceux-ci atteignent 2^{cm} de long et 1^{mm} à 2^{mm} de large, mais ils sont très minces.

M. Sabatier les a obtenus par la décomposition du persulfure d'hydrogène.

M. Muthmann a observé que les cristaux de soufre nacré s'éteignent suivant l'axe vertical et que leur allongement est négatif. J'ai remarqué, en outre, que le plan des axes est dans g^1(010) qui, comme il a été dit plus haut, est la face d'aplatissement. Ces cristaux offrent de plus un caractère intéressant. Avec l'essence de térébenthine ils donnent de belles

---

(¹) W. Muthmann, *Zeitsch. f. Kryst.*, t. XVII, 1890, p. 336. Dans ce travail M. Muthmann donne la bibliographie très complète des travaux publiés sur cette modification du soufre, ainsi qu'un historique assez étendu.

figures de corrosion ayant la forme et l'orientation caractéristiques du plan de symétrie des cristaux monocliniques.

Je reviendrai plus loin sur ces cristaux lorsque je m'occuperai de leur formation simultanée avec celle des modifications α et β.

M. R. Brauns a obtenu sur une lame de verre des cristaux radiés de soufre, qui avaient été portés à une température supérieure à 120°. L'extinction se fait à 0° et l'allongement des fibres est négatif. M. R. Brauns a homologué ce soufre à cause de ces deux caractères, à la troisième modification de Muthmann. Ce soufre présente sur la lame de verre un caractère particulier : par refroidissement, il se produit une série de fentes concentriques, beaucoup plus nombreuses et beaucoup plus régulières que dans le soufre radié peu biréfringent. L'examen en lumière convergente montre que, généralement, ces fibres radiées sont parallèles au plan des axes.

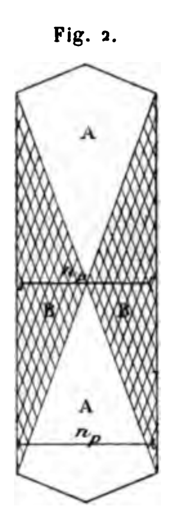
Mais j'ai observé qu'il se produisait non seulement des sphérocristaux, mais aussi des cristaux ayant des contours réguliers, comme l'indique la figure 2. Cependant les angles plans ne sont pas constants, ce qui est dû à ce que le cristal ne s'est pas développé également dans tous les sens, et que l'on a affaire à un groupe de cristaux de même orientation plutôt qu'à un cristal unique, fait qui se montre souvent quand une substance cristallise sur une lame de verre. Ces cristaux de soufre sont très intéressants, car ils sont perpendiculaires à une bissectrice négative, et comme c'est n_p qui coïncide avec l'axe vertical, que le plan des axes est dans g^1 (010), c'est la face p (001) qui se montre ainsi. Presque toujours une telle face est composée de deux parties homogènes A et de deux autres B, ayant la même orientation optique, mais striées comme l'indique la figure 2.

Des cristaux semblables sont obtenus en chauffant le soufre dans du tétrabromure d'acétylène porté à la température

de 150°, et refroidi brusquement, mais les résultats ne sont pas toujours constants. L'expérience réussit mieux s'il y a très peu de tétrabromure.

Les sphérolites ne sont pas toujours formés de fibres parallèles au plan des axes, ils ont parfois une structure plus com-

Fig. 2.



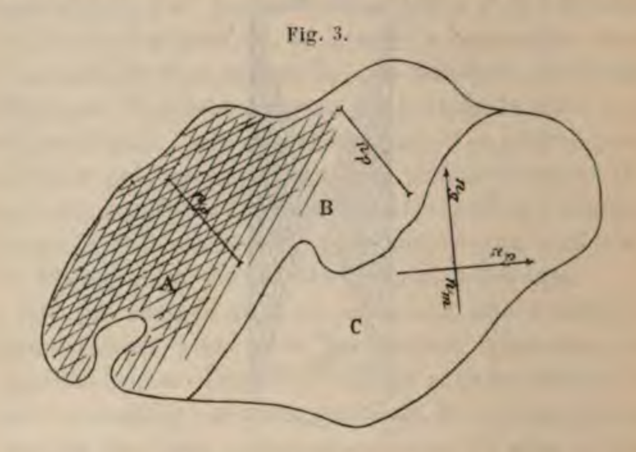
plexe. Une partie comprend des bandes perpendiculaires à une bissectrice négative. Ces dernières présentent deux caractères qui les font reconnaître à première vue : elles sont moins biréfringentes que le reste du sphérolite et ont une structure particulière d'autant plus évidente qu'elles sont plus étendues. Elles sont en effet formées de bandes radiées terminées par un pointement, ou bien, elles sont constituées par deux séries de bandes parallèles se coupant sous un angle de 45° environ.

La figure 3 représente une plage formée de trois parties ayant des caractères différents. A et B sont perpendiculaires à la bissectrice n_p, mais B ne montre aucune des stries de A ; C est parallèle au plan des axes optiques.

Ce soufre, comme l'a constaté M. R. Brauns, se transforme en la forme β quand on le porte à la température de 75° environ. Il peut se conserver sans altération pendant plusieurs semaines avant de se transformer, à la température ordinaire, en soufre rhombique α.

Sur les lames de verre on observe fréquemment de belles lamelles de soufre, déjà vues par M. R. Brauns, se produisant

Fig. 3.



en somme par le même procédé que celles qui ont été étudiées par M. Salomon [1]. Dans un cas, une telle lamelle, tout à fait incolore, était en continuation directe avec des fibres polychroïques du soufre radié qui absorbe la lumière lorsqu'il est coloré. Suivant n_g on a une teinte brun foncé. Ce fait montre bien que le polychroïsme du soufre nacré est dû à une matière étrangère qui me paraît être une autre modification du soufre. Car il est à remarquer, qu'alors que des cristaux incolores restent intacts pendant plusieurs jours, ceux qui sont colorés se décomposent en quelques heures.

---

(1) *Zeitsch. f. Kryst.*, t. XXVIII, 1897, p. 169 et t. XXXI, 1899, p. 276.

La transformation du soufre nacré en soufre orthorhombique α a déjà été étudiée par M. Muthmann. Je reviendrai sur cette question dans le paragraphe suivant.

Formation simultanée des soufres octaédrique, prismatique et nacré à la température ordinaire.

M. Muthmann [1] a obtenu accidentellement, en laissant évaporer très lentement à la température de 10° une solution alcoolique de polysulfure d'ammonium dans une éprouvette ayant 10cm de haut et 4cm de diamètre, remplie à moitié, les quatre premières modifications. Un des faits les plus intéressants que j'ai observés c'est la production simultanée du soufre octaédrique, du soufre prismatique et du soufre nacré par évaporation, à la température ordinaire, d'une solution dans du sulfure de carbone.

Pasteur [2] a remarqué que cette dernière laissait déposer des cristaux octaédriques et des cristaux prismatiques. Ce fait a été aussi constaté par Ch. Deville [3]. Or, non seulement il se produit, en même temps qu'un grand nombre de cristaux octaédriques, des cristaux de soufre monoclinique, mais aussi des lames allongées de soufre nacré.

La formation de ces trois sortes de soufre peut être observée au microscope, sur une lamelle de verre, en examinant ce que laisse déposer une goutte de sulfure de carbone, mais l'expérience n'est pas toujours concluante. On réussit beaucoup mieux en étendant sur le porte-objet une goutte d'essence de térébenthine sur laquelle du sulfure de carbone saturé de soufre est déposé. Aussitôt il se produit trois sortes de cristaux :

---

(1) Muthmann, *Loc. cit.* p. 344.
(2) Pasteur, *C. R. de l'Ac. des Sc.*, t. XXVI, 1848, p. 48.
(3) Ch. Deville, *C. R. de l'Ac. des Sc.*, t. XXVI, 1848, p. 117.

1° Des cristaux de soufre orthorhombique limités par les faces $b^{\frac{1}{2}}$.

2° Des lames allongées, s'éteignant à 0° suivant leur longueur. On constate, en outre, qu'elles sont parallèles au plan des axes et que leur allongement est négatif. Ces caractères, ajoutés à ceux tirés de leur forme, indiquent d'une façon certaine qu'elles appartiennent à la troisième modification de M. Muthmann. Au bout d'un moment, elles se dissolvent, surtout sur les parties qui ne sont pas éloignées d'un cristal octaédrique. Ce dernier tend, en s'accroissant, à diminuer la saturation du liquide et par conséquent à augmenter la capacité de ce dernier pour dissoudre le soufre nacré. Il se produit aussi, dans quelques cas, des figures de corrosion sur la face g^1 (010). Mais beaucoup de cristaux, au contact du soufre octaédrique, passent à cette dernière modification, tout en conservant indéfiniment leur forme extérieure et leur transparence. Ils ne se distinguent des cristaux primitifs que par le changement des propriétés optiques. L'extinction n'est plus longitudinale, elle se fait au contraire sous des angles dont la variation d'un échantillon à l'autre, de 12° à 40°, ne permet pas d'établir l'orientation du réseau du soufre octaédrique par rapport à celui du soufre nacré.

3° Des cristaux en lamelles comme les précédents, mais avec un contour carré ou hexagonal et, dans ce cas, leur allongement est beaucoup plus petit que dans celles du soufre nacré. En outre, tandis que leur biréfringence est plus faible, elles ne présentent en lumière parallèle que le gris de premier ordre, les autres atteignant le bleu. En lumière convergente, elles montrent un axe optique dans le champ du microscope et, pour ramener celui-là au centre, il faut tourner la platine d'un angle différent pour chaque sorte de lames. Ces deux angles correspondent à ceux qui caractérisent les faces h^1 et p du soufre prismatique.

Ces cristaux se dissolvent, en général, complètement sans se transformer en soufre octaédrique.

Les cristaux carrés, aplatis suivant *p*, s'éteignent suivant les diagonales. Souvent ils sont tronqués par les faces e^1 (011) et ont alors la forme hexagonale.

On peut objecter que ces lames cristallines, carrées ou hexagonales et plus ou moins allongées, pourraient appartenir au soufre nacré. Mais ce dernier n'a montré, dans le cours de toutes les observations qui ont été faites, que des cristaux aplatis soit suivant g^1, soit suivant *p*; une de ses faces peut bien posséder les propriétés de h^1 ou de *p* du soufre prismatique, mais qu'il y ait coïncidence pour deux sortes de faces, cela est infiniment peu probable, d'autant plus que l'ellipsoïde des indices a dans chaque variété une orientation différente. En outre, les lamelles, presque perpendiculaires à un axe optique, se dissolvent en général sans se transformer en soufre octaédrique, tandis que celles du soufre nacré passent fréquemment à la forme α.

Ces faits tendent à prouver que les particules complexes des trois modifications existent simultanément dans le sulfure de carbone à la température ordinaire. Malheureusement il n'est pas facile de déterminer la quantité relative de chaque modification. Cette quantité dépend évidemment de la température, et il est même facile de s'en assurer, en examinant les cristaux qui se produisent sur une lame de verre par le refroidissement d'une solution de soufre dans le tétrabromure d'acétylène, porté à la température de fusion du soufre. Il se produit d'abord des cristaux de soufre prismatique seul, ensuite des cristaux de soufre nacré et finalement du soufre octaédrique en même temps qu'une faible quantité des deux autres. Vers 70° on obtient même beaucoup plus de soufre nacré que de soufre monoclinique. A mesure que la température s'abaisse, la quantité de soufre orthorhombique α aug-

mente et, vers 16°, les deux autres sont déjà difficiles à mettre en évidence. Je ne suis pas outillé pour faire des observations à basse température, mais il est infiniment probable, qu'à un moment donné, l'une des deux modifications instables ne doit pas exister et que finalement le soufre octaédrique seul persiste.

Les trois modifications, qui viennent d'être étudiées, peuvent être produites par solidification d'une masse fondue et par évaporation ou refroidissement d'une solution. Celles qui suivent ont été obtenues par fusion seulement et, afin de pouvoir examiner leurs propriétés optiques, la méthode de R. Brauns a été employée, c'est-à-dire que l'examen a été fait au moyen de lames de verre, sur lesquelles le soufre a été porté à une température plus ou moins élevée. Les modifications provenant de la transformation du soufre mou en soufre octaédrique sont les mêmes que celles qui sont ainsi obtenues.

Soufre monoclinique radié (R. Brauns).

Cette modification se produit si le soufre a été porté à une température supérieure à 120°. Elle forme des sphérocristaux dont les fibres ont un éclat nacré particulier, de telle sorte qu'à l'œil nu elles sont très faciles à reconnaître. Souvent ces fibres sont contournées. Elles sont beaucoup moins biréfringentes que le soufre radié concentrique orthorhombique et présentent les teintes allant du jaune de premier ordre au bleu du second ordre.

M. R. Brauns a constaté que ces fibres s'éteignaient à 45°. Par suite, sans doute, des différentes orientations de ces dernières, j'ai trouvé aussi des angles d'extinction de 17° et observé fréquemment des macles s'éteignant symétriquement à 17° par rapport à la trace du plan d'association. L'allongement est positif et la plage est parallèle au plan des axes.

M. R. Brauns a homologué cet état du soufre au soufre nacré de Gernez obtenu par fusion.

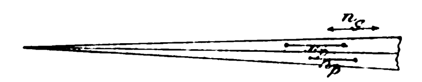
Il se transforme déjà à 75° en soufre prismatique et, à la température ordinaire, il passe assez rapidement à la modification rhombique α.

Soufre rhombique radié fibreux peu biréfringent (*R. Brauns*).

Le soufre qui a été porté à la température de 160°, et même beaucoup plus haut, a une tendance à prendre cette forme, si le refroidissement est brusque.

Il est facile à reconnaître à l'œil nu par sa transparence et par sa couleur bleuâtre lorsqu'il est vu par réflexion. En lu-

Fig. 4.



mière parallèle, comme l'a déjà observé M. R. Brauns, il est très peu biréfringent. Le plus souvent il ne présente que les teintes grises, mais parfois aussi le jaune, le violet et même le bleu du premier ordre. Les fibres s'éteignent rigoureusement suivant leur longueur et elles ont un allongement positif. Il se produit de beaux sphérolites qui, au début de leur formation, sont circulaires et conservent cette forme jusqu'à ce que, par suite de leur développement, ils viennent en contact avec un sphérolite voisin. La cristallisation est d'autant plus retardée que le soufre a été porté à une température plus élevée. Le nombre de sphérolites augmente aussi avec cette dernière.

Avec les fibres, il paraît y avoir quelquefois un mélange de soufre amorphe, sans action sur la lumière polarisée. En lumière convergente on voit que le plan des axes optiques est

perpendiculaire à la lame et parallèle à l'allongement des fibres (*fig.* 4). Ces axes sont peu écartés puisqu'ils sortent à peine du champ du microscope (object. 7 de Nachet) et que l'indice de réfraction du soufre est très élevé. Cet angle est variable d'une section à l'autre, par suite probablement de tensions, et a pour bissectrice n_p.

Cette modification est quelquefois colorée légèrement en brun, probablement par une autre modification de soufre. Les fibres sont alors polychroïques.

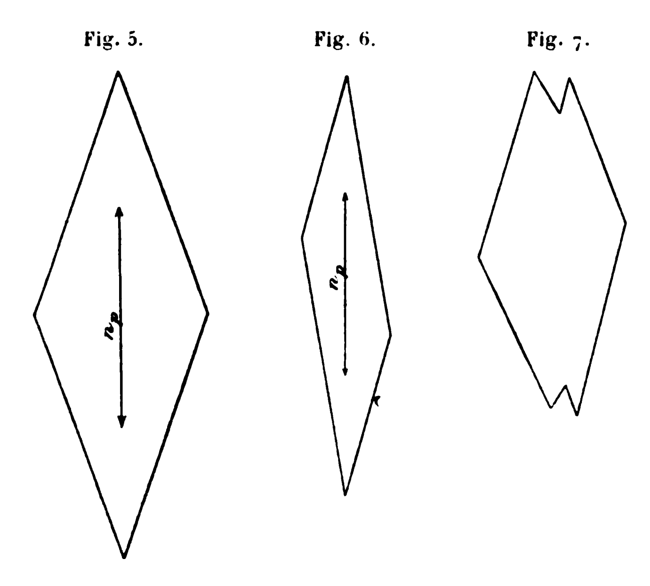
Ce soufre est assez stable; j'ai des plaques préparées depuis neuf mois (avril à janvier) qui sont restées intactes à la température ordinaire. Quand on élève la température, il se transforme en soufre prismatique avant le soufre radié, à écailles concentriques, mais après le soufre qui va être décrit. Comme on le verra plus loin, cette forme se produit aussi quand le soufre mou se transforme en soufre cristallisé auquel il donne une couleur bleuâtre.

Soufre trichitique (R. Brauns).

Cette modification se produit lorsque le soufre, devenu brun foncé sous l'influence de la chaleur, est refroidi rapidement. Elle est facile à reconnaître à l'œil nu, car elle forme des taches opaques et blanchâtres, se détachant sur le reste de la préparation contenant le soufre précédent. Ces deux formes se montrent en effet simultanément.

Au microscope, M. R. Brauns a remarqué que ce soufre avait une tendance à prendre des formes trichitiques, qu'il était très polychroïque, très birefringent et que les fibres avaient un allongement positif. J'ai constaté que les cristaux avaient parfois des formes très régulières, représentées par la figure 5, et alors le qualificatif de trichitique n'est plus justifié. Mais, comme pour les cristaux décrits page 167,

obtenus sur une lame de verre, ils forment des groupements à axes parallèles, le développement ne se faisant pas toujours régulièrement (*fig.* 5, 6 et 7). Les rhombes ont un angle aigu de 41° et n_p coïncide avec la grande diagonale. Ils sont obliques à un axe optique et sont très polychroïques. Le



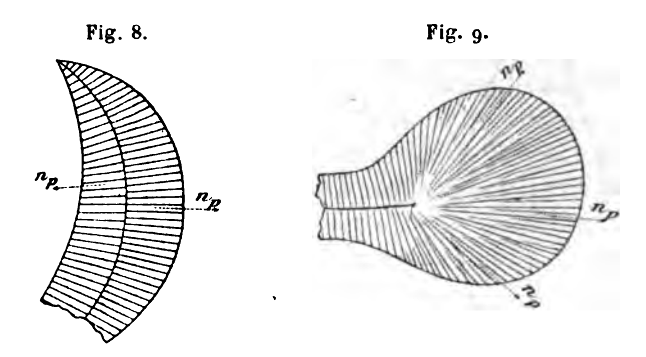
maximum d'absorption a lieu suivant le plus petit indice de la section. La couleur est alors brun foncé, elle est brun clair suivant l'autre indice.

Comme l'a remarqué M. R. Brauns, ce soufre est remarquable par son instabilité, il passe rapidement à la forme octaédrique. Au contact du soufre orthorhombique radié, peu biréfringent, il se transforme aussi en ce dernier. Quand on élève la température, il se modifie en soufre prismatique β plus tôt que toutes les autres variétés.

Soufre trichitique de O. Lehmann.

M. R. Brauns a homologué la modification obtenue par M. O. Lehmann [1] avec son soufre trichitique. Dans quelques cas j'ai obtenu des groupements identiques comme forme avec ceux que ce dernier auteur a figurés, produits simultanément avec la modification précédente, mais qui me paraissent constituer un état particulier. Les fibres ont bien un allongement négatif, mais elles sont très peu biréfringentes, ne présentant que le gris de premier ordre et ne sont pas polychroïques (*fig.* 8 et 9). Aussi cette forme doit être considérée comme distincte, ce qui porte à neuf les modifications cristallines du soufre.

Fig. 8. Fig. 9.



TRANSFORMATION DU SOUFRE MOU EN SOUFRE CRISTALLISÉ.

Le soufre mou se transforme, comme on sait, plus ou moins rapidement, suivant que la température à laquelle il a été porté était plus ou moins élevée. De tous les corps

[1] O. LEHMANN, *Zeitsch. f. Kryst.*, t. I, 1877, p. 482 et pl. XXI, fig. 54.

amorphes connus, c'est celui qui possède la double réfraction la plus énergique quand on comprime ou qu'on étire les filaments. Sous une faible traction, ceux-ci deviennent biréfringents, présentent toute la série des couleurs à mesure qu'on les allonge et donnent très facilement les blancs d'ordre supérieur. Le plus grand indice de réfraction coïncide avec l'axe du filament.

En écrasant les filaments, la biréfringence se produit aussi, mais les teintes ne sont jamais aussi élevées. Dans ce cas, n_g est transversal. Par conséquent le plus grand indice de réfraction correspond toujours avec la direction suivant laquelle se fait l'extension.

Le soufre mou, en se transformant, donne naissance aux trois formes cristallines décrites en dernier lieu ([1]). Plusieurs méthodes d'observation peuvent être employées. Une des plus pratiques consiste à chauffer une petite quantité de ce corps sur une lamelle mince. On peut ainsi le porter avec une platine chauffante jusqu'à la température où il s'enflamme au contact de l'air et qui est de 270°.

Une lame couvre-objet assez épaisse est appliquée sur la goutte qui, refroidie ainsi brusquement, ne commence pas à cristalliser avant une demi-heure.

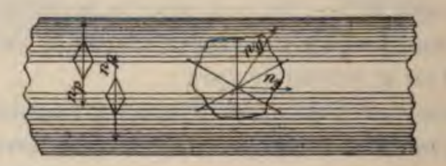
Il se produit au bout de ce temps deux sortes de cristaux. Les uns forment des sphérolites très petits, très nombreux, très peu biréfringents et dont l'allongement des fibres est positif. Ils présentent en somme tous les caractères du soufre rhombique radié décrit p. 173. Les autres, très biréfringents,

---

([1]) M. O. Lehmann (*Zeitsch. f. Kryst.*, t. I, 1877, p. 128) a observé que le soufre mou se transforme en deux sortes de cristaux appartenant les uns à une forme inconnue, les autres à la forme prismatique. M. R. Brauns attribue les premiers à son soufre trichitique, et les seconds au soufre radié à écailles concentriques. *Voir* aussi Ch. Hundt, *Mitth. a. d. Min. Inst. d. Univ. Kiel*, Heft 4, 1892, p. 310.

forment de petits cristaux losangiques appartenant au soufre trichitique et des amas confus, montrant sur les bords de petites bandes aciculaires à allongement négatif et à extinction légèrement oblique. De nombreux trichites identiques à ceux décrits et figurés par M. R. Brauns se voient aussi dans la préparation. Quelquefois des groupements formés de cristaux peu biréfringents et constitués par du soufre de M. O. Lehmann peuvent être observés. Au bout de 24 heures, du soufre amorphe existe encore, enveloppant les parties cristallisées. Mais par ce procédé le soufre ne peut pas être porté à une température très élevée. Il faut alors se servir des filaments provenant du soufre refroidi dans l'eau par la méthode ordinaire. La transformation commence par la production à la surface des fils de petits cristaux rhombiques

Fig. 10.



très biréfringents, de plages s'éteignant les unes sur toute leur étendue, les autres formées de plusieurs secteurs, 6 ou 8, opposés deux à deux par le sommet et à développement souvent inégal. Le plus grand indice de réfraction coïncide avec la direction radiale et ces secteurs s'éteignent suivant leur bissectrice. Ces cristaux peuvent être rapportés sans aucun doute au soufre radié orthorhombique peu biréfringent et les losangiques au soufre trichitique de M. R. Brauns (*fig.* 10).

Le soufre mou écrasé sur une lame de verre, de façon à donner une couche très mince, peut être aussi observé au

microscope dans ses modifications, mais les cristaux produits sont beaucoup plus petits que les précédents et ne sont pas caractéristiques.

Avec un rasoir, des lamelles très minces de soufre mou peuvent être détachées et examinées ensuite sur une lame porte-objet. On peut ainsi se rendre compte que dans les gros filaments le refroidissement s'est fait beaucoup plus lentement à l'intérieur qu'à l'extérieur; aussi la cristallisation commence beaucoup plus tôt au centre qu'à la périphérie.

Il résulte de ce travail quelques faits nouveaux que je vais rappeler brièvement.

1° Le plan des axes du soufre monoclinique est placé dans le plan de symétrie. L'angle 2V est égal à 58° environ et la bissectrice n_p fait un angle de 44° avec l'axe vertical.

2° Le soufre nacré obtenu par fusion se présente fréquemment, sur une lame de verre, en cristaux aplatis suivant la face *p* et perpendiculaires à la bissectrice n_p. Les fibres radiées sont généralement parallèles au plan des axes.

3° Le soufre trichitique de M. R. Brauns possède aussi des formes géométriques régulières, losangiques et le plus petit indice de réfraction coïncide avec la grande diagonale.

4° Le soufre, signalé par M. O. Lehmann, paraît être distinct du soufre trichitique de M. R. Brauns.

5° Le polychroïsme des modifications obtenues sur une lame de verre, à l'exception du soufre trichitique, paraît être dû à des inclusions d'une autre variété de soufre coloré. On observe en effet des cristaux ayant la même orientation, les uns polychroïques et les autres dépourvus de polychroïsme. En outre, ce soufre inclus dans les formes cristallisées favorise leur transformation en soufre rhombique α.

Une solution de sulfure de carbone laisse déposer à la température ordinaire, en même temps que du soufre octaé-

drique, une petite quantité de cristaux de soufre monoclinique β et de soufre nacré γ. Le fait est mis facilement en évidence, en étendant sur une lame de verre une couche d'essence de térébenthine, sur laquelle la goutte de sulfure de carbone, saturée de soufre, est ensuite déposée.

Le soufre mou, en devenant cristallin, se transforme d'abord et simultanément en soufre rhombique radié peu biréfringent, en soufre trichitique de R. Brauns et en soufre trichitique de O. Lehmann.

Sur la syncristallisation de deux substances différentes;

Par M. Paul Gaubert.

Dans des travaux antérieurs ([1]), j'ai montré qu'il pouvait y avoir syncristallisation et orientation régulière de deux substances n'appartenant pas au même système cristallin. Le fait peut être mis en évidence par l'emploi d'un corps incolore et d'une matière colorante. Deux cas peuvent alors se présenter :

1° Le polychroïsme du cristal coloré artificiellement est le même que celui des cristaux de la matière colorante ellemême (nitrate de plomb, gypse, etc. et bleu de méthylène); alors l'orientation des cristaux de cette dernière substance sur le cristal incolore paraît incontestable.

2° Le polychroïsme du cristal coloré est différent de celui de la substance colorante et est identique à celui que présentent les matières amorphes (fibres organiques, soie, laine,

---

([1]) Ce *Bulletin*, t. XXIII, 1900, p. 211 et t. XXV, 1902, p. 258. — *Voir* aussi A. Johnsen, *Neues Jahrb. f. Min.*, t. II, 1903, p. 134.

:oton. chanvre, lin, gélatine, etc.) montrant la double réfrac-
ion accidentelle.

Dans ce cas, réalisé par le nitrate d'urée, la matière colo-
·ante paraît, pour ainsi dire, être en dissolution dans le cris-
al, comme elle l'est dans les fibres ou dans la gélatine, ses
)articules complexes ayant une orientation quelconque. Le
)olychroïsme est alors intimement lié au réseau de la sub-
:tance ainsi colorée.

Le réseau du nitrate d'urée peut être comparé à celui des
:éolites. Il peut admettre dans ses mailles des molécules de
ubstances étrangères, avec cette différence que, s'il s'agit du
)leu de méthylène, elles ne sont pas mobiles comme celles
[ui pénètrent dans les cristaux de la heulandite. Les mailles
le ces derniers laissent passer les gaz et les liquides, mais
)as les corps en dissolution ([1]).

Les molécules du bleu de méthylène peuvent pénétrer dans
e réseau du nitrate d'urée pendant sa formation seulement,
:t il est probable que certaines substances dissoutes doivent
ussi entrer dans les mailles des cristaux de heulandite,
endant leur accroissement.

Dans les deux modes de coloration, la forme dominante
lu cristal peut être changée par l'absorption de la matière
olorante et, dans le cas où les différentes faces ne tolèrent
as également le dépôt de cette dernière, c'est la face, qui
n absorbe le plus, qui prend le plus grand développement.

Dans cette Note je vais examiner quelques colorations arti-
icielles appartenant au premier cas.

Sulfate de cuivre, $SO^4Cu, 5H^2O$. — Les cristaux de ce sel,
)ien qu'ils possèdent une coloration bleue assez intense, ne
ont pas polychroïques ou du moins le sont très peu. Formés

([1]) Ce *Bulletin*, t. XXVI, 1903, p. 178.

dans une solution saturée de bleu de méthylène, ils prennent la coloration de ce dernier et deviennent alors très polychroïques. Ce polychroïsme, qu'on peut observer très facilement sur des cristaux formés sur une lame de verre, est le même que celui des cristaux de bleu. Ils sont rouge violacé quand l'axe vertical *c* du cristal est perpendiculaire à la section principale du nicol et bleus ou presque incolores quand ils sont parallèles à cette dernière. Cela montre que les cristaux de bleu de méthylène et ceux de sulfate de cuivre se groupent de façon que les deux axes *c* soient en coïncidence.

La quantité de matière colorante cristallisant avec le sulfate de cuivre est très faible, et, naturellement, pour qu'il y ait syncristallisation, il est nécessaire que la solution soit évaporée ou refroidie convenablement pour laisser déposer à la fois les deux substances. Les faces des cristaux de sulfate de cuivre sont peu modifiées dans leur développement relatif par le bleu de méthylène, cependant on peut constater que les cristaux colorés sont toujours allongés fortement suivant l'axe vertical.

Nitrate de strontium hydraté. — Ce sel est bien connu depuis les expériences de Senarmont montrant qu'il pouvait se colorer par l'extrait de bois de campêche. Les cristaux prennent aussi la même couleur avec un des principes colorants de ce bois, l'hématoxyline, substance cristallisée.

Le bleu de méthylène colore aussi les cristaux de nitrate de strontium hydraté qui deviennent alors très polychroïques, même s'ils sont très petits et pouvant être seulement examinés au microscope. Les teintes sont celles du bleu cristallisé et montrent que les cristaux de ce dernier sont orientés de façon que leur axe vertical *c* soit en coïncidence avec l'axe antéro-postérieur *a* du nitrate de strontiane hydraté. Par suite de cette orientation, les cristaux colorés en bleu sont très allongés

uivant l'axe *a* et ne présentent que les faces $e^{\frac{1}{2}}$ (021) dans la one pg^1 (001) (010).

C'est bien l'absorption du bleu de méthylène qui est la ause du développement exclusif des faces $e^{\frac{1}{2}}$ et de l'allonge-nent suivant l'axe antéro-postérieur. Si de nouveaux cristaux e nitrate de strontiane se déposent alors que la solution 'est plus saturée pour le bleu de méthylène, ils sont comme eux obtenus d'une eau mère pure, mais, l'évaporation con-inuant, il arrive un moment où le bleu de méthylène se épose à son tour et les cristaux qui se forment s'allongent uivant l'arête $e^{\frac{1}{2}} e^{\frac{1}{2}}$ (021) (0$\bar{2}$1).

Sulfate de thallium. — Le bleu de méthylène se dépose aussi égulièrement sur ce sel. L'examen du polychroïsme montre ue l'axe vertical des cristaux de bleu coïncide avec celui u sulfate de thallium.

Morphine. — Sur les cristaux orthorhombiques de cette ubstance le bleu de méthylène se dépose de façon que son xe vertical coïncide avec celui de la morphine.

Nous venons de voir que diverses substances cristallisent vec du bleu de méthylène régulièrement orienté sur les ristaux. La quantité maxima de matière colorante se dépo-ant ainsi, dépend de son coefficient de solubilité, toujours ·ès faible, et aussi de l'attraction mutuelle des deux sortes e substances. Le nitrate de plomb se colore beaucoup mieux ue les corps qui viennent d'être examinés. Les cristaux de leu doivent aussi former des mélanges dans lesquels c'est ι matière colorante qui domine. J'ai entrepris de nombreuses echerches, non encore terminées, pour mettre ce fait en évi-ence. J'ai déjà obtenu de beaux petits cristaux très poly-

chroïques, formés de bleu de méthylène et d'autres substances incolores qui semblent bien prouver la véracité de cette supposition.

Sur les minéraux des enclaves homœogènes de Mayen;

Par M. Paul Gaubert.

La lave provenant du cratère de Bellenberg, près de Mayen (Prusse rhénane), formée par une andésite augitique, contient une grande quantité d'enclaves énallogènes et homœogènes. Elles peuvent être facilement observées dans les résidus de l'exploitation des carrières de pierre meulière. Ces enclaves homœogènes ont été l'objet de plusieurs travaux mentionnés dans le dernier en date, dû à M. A. Lacroix ([1]).

Dans le cours d'un voyage que j'ai fait dans l'Eifel, j'ai ramassé un grand nombre de types de composition minéralogique variée. Ce sont les suivants :

1° De grands cristaux de péridot isolés, généralement arrondis;

2° De gros cristaux brisés d'haüyne, limités par des faces de clivage;

3° Des cristaux d'oligoclase;

4° Des cristaux de hornblende;

5° Des cristaux d'haüyne englobant des cristaux de péridot;

6° Des roches formées par de l'amphibole hornblende, de

([1]) A. Lacroix, *Les enclaves des roches volcaniques*, 1893, p. 143.

l'oligoclase et de l'oligoclase andésine avec cristaux d'apatite, de sphène et de magnétite;

7° Des enclaves constituées par les minéraux précédents et de l'haüyne;

8° Des enclaves contenant du pyroxène, de l'amphibole, de l'haüyne et de l'oligoclase;

9° Des enclaves formées de pyroxène augite, d'oligoclase, d'apatite, de sphène et de magnétite avec ou sans haüyne:

10° Des roches contenant seulement des cristaux de feldspath et de magnétite.

En outre, il existe des ségrégations formées par des cristaux de hornblende ou par des cristaux d'augite seuls. Par conséquent, on rencontre tous les intermédiaires entre les types hololeucocrates (feldspath très abondant et un peu de magnétite) et les types holomélanocrates (amphibole dominant avec un peu de feldspath).

Dans beaucoup de ces enclaves, on observe du verre provenant de la fusion de la hornblende.

Dans le cas du maximum de complication minéralogique l'ordre de cristallisation est, en général, le suivant :

Apatite, sphène, amphibole, haüyne, pyroxène, feldspath.

Le péridot est inclus dans l'haüyne et, par conséquent, antérieur à cette dernière, mais je n'ai pas trouvé de préparation favorable pour établir son âge par rapport aux minéraux ayant cristallisé avant l'haüyne.

L'ordre de formation des minéraux des enclaves de Mayen n'est pas toujours celui de la fusibilité. Les recherches de Dœlter et de Brun ont fourni des nombres très différents, mais cependant il y a une certaine concordance dans le degré relatif de fusibilité. Voici ces nombres, les minéraux étant rangés d'après leur ordre de consolidation :

	Brun.		Dœlter.
Apatite.........	1550°		»
Sphène.........	1190		»
Hornblende.....	1060		1065°
Péridot, Eifel...	1750	Almeklovdal.....	1280
Haüyne........	1410		»
Augite..........	1230	Monti Rossi.....	1185
Oligoclase......	1260		1120

Je vais examiner successivement les propriétés de ces divers minéraux.

Apatite. — L'apatite se présente en aiguilles allongées suivant l'axe vertical et n'offre rien de particulier. J'ai pu observer un cristal ayant $1^{mm},5$ dans le sens transversal, ce qui m'a permis de prendre approximativement la mesure des indices de réfraction (¹) :

n_g.................................. 1,637
n_p.................................. 1,634

ces valeurs montrent que l'on a affaire à une apatite fluorée.

Les indices de réfraction augmentent, en effet, à mesure que le fluor est remplacé par du chlore, comme l'indiquent les exemples suivants :

	n_g.	n_p.	F.	Cl.
Bamle........	1,6691	1,6653	»	chlore seulement
Jumilla.......	1,63896	1,63148	3,54	0,47
Knappenwand.	1,6359	1,6334	3,63	0,03

Les cristaux de Knappenwand contiennent un peu plus de fluor que ceux de Jumilla, bien que les indices soient moins élevés, mais les différences sont si faibles qu'elles peuvent être attribuées à des erreurs d'analyse.

(¹) Tous les indices donnés dans cette Note ont été mesurés avec la lumière du sodium.

Sphène. — Les cristaux, d'une belle couleur jaune, se trouvent, en grande quantité, dans toutes les enclaves; les plus gros, atteignant quelquefois 5^{mm} dans leur plus grande dimension, font partie, d'après les échantillons que j'ai observés, des enclaves à pyroxène dominant.

Amphibole. — L'amphibole des enclaves et ségrégations de Mayen est constituée par de la hornblende basaltique. Les cristaux, parfois assez volumineux, atteignent 2^{cm} dans les enclaves à oligoclase et à oligoclase et haüyne.

Les indices de réfraction sont approximativement les suivants :

n_g	1,708
n_m	1,695
n_p	1,677
$n_g - n_p$	0,031

Cette hornblende produite en profondeur a subi, au cours de l'épanchement de la lave, des modifications profondes de l'ordre de celles si souvent observées dans les roches volcaniques.

Ses cristaux sont souvent, en effet, transformés, sur les bords, en pyroxène et en magnétite, et cette modification atteint parfois tout le cristal. La présence du verre, qui n'est que de l'amphibole fondue, semble montrer que l'action de la chaleur a eu une part prépondérante dans cette transformation. L'amphibole est, de tous les minéraux entrant dans la composition de l'enclave, celui qui fond à la température la plus basse; aussi ce minéral est-il souvent détruit, alors que les autres restent intacts. Dans certains cas, l'amphibole, par suite de l'augmentation de volume, due à la fusion, a agi mécaniquement sur les cristaux d'haüyne et a provoqué dans ces derniers la production de clivages.

Le verre, qui se trouve dans les enclaves amphiboliques,

est bien le résultat de la fusion de l'amphibole ; en effet, son indice de réfraction est de 1,66, alors que celui du résidu vitreux de la lave ne dépasse pas 1,53 ; en outre, ce verre a parfois conservé la forme du cristal primitif.

Parfois l'amphibole fondue n'a pas recristallisé, par suite, probablement, d'un refroidissement trop rapide, mais, d'ordinaire, elle a donné naissance à de petits cristaux de pyroxène et à de la magnétite et rarement à de la fayalite ou, du moins, à une olivine très ferrifère.

Fayalite. — Les cristaux de ce minéral sont remarquables par leur polychroïsme qui est caractéristique. En effet, l'absorption est beaucoup plus grande perpendiculairement à leur allongement que suivant ce dernier, fait déjà constaté par M. O. Mügge [1] sur de l'olivine ferrifère des roches des Açores, et par M. A. Lacroix [2] sur la fayalite d'andésites endomorphisées.

Olivine. — Les grands cristaux d'olivine sont assez rares, leurs angles sont arrondis. J'en ai trouvé seulement deux : l'un est enveloppé par un gros cristal d'haüyne ou plutôt par un fragment limité par les faces de clivage.

L'olivine est légèrement jaune. Ses indices sont les suivants :

n_g	1,6931
n_m	1,6769
n_p	1,6582
$n_g - n_p$	0,0349

ce qui caractérise une olivine peu ferrifère.

Haüyne. — L'haüyne existe en cristaux isolés plus ou

(1) O. Mügge, *Neues Jahrb.*, t. XI, 1883, p. 205.
(2) A. Lacroix, *La Montagne Pelée et ses éruptions*, Paris, 1904, p. 632.

moins volumineux ; elle est connue depuis longtemps dans la lave de Mayen et de Niedermendig et se rencontre aussi très fréquemment dans les enclaves et les ségrégations. On sait qu'elle abonde, comme élément normal, dans les trachytes du lac de Laach et dans le trass de la vallée de Brohl.

Dans les autres roches alcalines de la région du lac de Laach, c'est-à-dire dans les leucophonolites et dans les sanidinites, l'haüyne est remplacée par la noséane.

Les cristaux d'haüyne sont plus ou moins bleus et parfois la coloration est inégalement répartie, le centre du cristal étant moins coloré que la périphérie. Cette coloration sera étudiée plus loin. En lames minces, les cristaux sont presque incolores.

Ces deux minéraux ne se distinguent l'un de l'autre que par les quantités de soude et de chaux, la noséane étant surtout sodique et l'haüyne calcique et sodique. Le type exclusivement sodique est inconnu dans la nature ; il existe de nombreux passages entre l'haüyne et la noséane. Les analyses des minéraux de ce groupe montrent que non seulement les quantités relatives de soude et de chaux varient d'un gisement à l'autre, mais aussi que les résultats obtenus par les différents observateurs ne concordent pas du tout pour les échantillons provenant de la même localité ([1]). L'haüyne de Niedermendig fournit un exemple de ces divergences.

	I ([2]).	II ([3]).	III ([3]).	IV ([4]).	V ([5]).
SiO^2.....	35,01	33,90	34,83	31,67	32,14
Al^2O^3....	27,42	28,07	28,51	28,66	28,12

([1]) C. Hintze, *Handbuch der Mineralogie*, t. I, p. 907 et 908.
([2]) Varrentrapp, *Pogg. Ann.*, t. XLIX, 1840, p. 515.
([3]) Whitney, *Pogg. Ann.*, t. LXX, 1847, p. 431.
([4]) Lemberg, *Zeitsch. d. geol. Ges.*, t. XXXV, 1883, p. 590.
([5]) Lemberg, *Zeitsch. d. geol. Ges.*, t. XL, 1888, p. 625.

	I.	II.	III.	IV.	V.
CaO.....	12,55	7,50	7,23	8,18	8
Na^2O....	9,12	19,28	18,57	16,35	15,54
K^2O.....	»	»	»	0,79	1,27
SO^3......	12,60	12,01	12,13	11,71	12,03
Cl........	0,58	»	»	0,95(NaCl)	0,76(NaCl)
Fe^2O^3....	0,17	»	0,31	»	»
S........	0,24	»	»	»	»
H^2O......	0,62	»	»	0,83	1,12

On voit que, tandis que la quantité d'alumine est la même dans tous les échantillons analysés, les nombres trouvés pour la chaux et la soude sont assez différents les uns des autres.

En outre, la densité croît avec la quantité de chaux, mais les inclusions faussent les résultats, les indications qu'elle fournit ne sont pas toujours sûres, et la cause des variations constatées pour les échantillons de la même localité restent parfois problématiques.

J'ai cherché à élucider la cause de ces divergences, par l'étude des propriétés optiques; l'haüyne et la noséane étant cubiques, une seule peut être employée, mais elle est suffisante, c'est la réfringence.

La mesure des indices de réfraction a été faite avec le réfractomètre à réflexion totale de M. Klein. Les cristaux d'haüyne et de noséane se polissent très facilement; les mesures peuvent être faites avec assez de précision.

Voici les résultats obtenus pour la lumière du sodium [1]:

Haüyne, cristal isolé de la téphrite de Niedermendig....	1,4950
» » de Mayen............	1,4930
» d'une enclave à hornblende de Mayen..........	1,4915

---

(1) M. Zimanyi a trouvé 1,4950 pour la noséane du lac Laach et 1,5027 pour l'haüyne du Latium (*Zeitsch. f. Kryst.*, t. XXII, 1894). M. Tchihatscheff a obtenu 1,4961 avec l'haüyne de Niedermendig (in Rosenbusch, *Mikrosk. Phys.*, 3e édition).

Haüyne d'une enclave à oligoclase dominant de Mayen.	1,4927
» du trachyte du lac Laach	1,5040
» d'une enclave de la Somma	1,5048
» d'une enclave d'Albano (octaèdre blanchâtre)	1,5060
» de l'andésite à haüyne de Falgoux (Cantal)	1,5090
» de l'haüynophyre de Melfi	1,4961
Noséane de la leucophonolite de Roth Hardt (Rieden)	1,4890
» » verte de Burgberg	1,4815
» » jaune de Burgberg	1,4948
» » de Schillkopf	1,4895
» cristaux à faces nettes des druses des sanidinites du lac de Laach	1,4965
» grains verdâtres de la même sanidinite	1,4970

Les nombres fournis par les divers échantillons de la même roche ne sont pas toujours identiques et ceux qui sont donnés dans le Tableau précédent ne représentent pas des moyennes, mais bien ceux qui ont été le plus souvent rencontrés. J'ai fait, en général, des observations sur six à dix échantillons de la même localité.

J'ai constaté, en outre, que les cristaux d'haüyne dépassant un demi-centimètre donnent parfois des différences pouvant atteindre 0,003 suivant que la mesure est effectuée sur le centre ou sur la périphérie, mais très fréquemment le cristal, au lieu de montrer ces deux régions concentriques, est formé de deux parties d'inégale réfringence placées l'une à côté de l'autre. On est donc amené à admettre que l'on a affaire à un fragment de cristal, limité par des faces de clivage.

Le Tableau ci-contre met en regard les quantités de soude et de chaux dosées par divers auteurs sur les minéraux provenant des localités dont j'ai étudié des échantillons au point de vue de leur indice de réfraction.

	CaO.	Na^2O.	K^2O.	Indice.
Haüyne d'Albano (1)	12,00	15,55		
» » (2)	9,96	14,24	2,30	1,5060
» » (3)	10,85	11,13	4,64	
» de Somma (4)	10,60	11,79	4,96	1,5048
» de Laach (5)	8,14	12,24		
» » (6)	8,28	12,40		1,5040
» » (7)	11,70	15,39	1,12	
» de Melfi (8)	5,54	14,47	3,76	
» » (9)	10,08	13,26	3,23	1,4961
» » (10)	11,55	13,57		
» de Niedermendig (11) ...	12,55	9,12		
» » (12) ...	7,50	19,28		
» » (13) ...	7,23	18,57		1,4950
» » (14) ...	8,18	16,35	0,79	
» » (15) ...	8	15,54	1,27	
Noséane du lac Laach (16)	1,14	16,56		
» » (17)	1,12	17,84	1,85	
» » (18)	1,09	23,12	1,37	
» » (19)	1,62	22,97	1,37	
» » (20)	1,20	23,33	0,34	
» » (21)	0,63	23,90		
» » (22)	4,05	20,75		1,4965
» de Haardt (Rieden) (23).	2,37	20,60		1,4890
Ittnerite du Kaiserstuhl (24)	6,75	14,35	1,81	1,4942

Selon toutes probabilités, l'indice 1,4965 correspond à la noséane du lac Laach contenant 4,5 pour 100 de chaux; l'analyse microchimique des échantillons mesurés m'a montré, en effet, l'existence d'une assez grande quantité de chaux.

Il résulte donc de ces faits :

1° Que, d'une manière générale, comme on devait du reste

---

(1) Gmelin, (2) Withney, (3) Vom Rath, (4) Rammelsberg, (5) et (6) Bergemann, (7) Vom Rath, (8) Rammelsberg, (9) et (10) Ricciardi, (11) Varrentrapp, (12) et (13) Whitney, (14) et (15) Lemberg, (16) Bergemann, (17) Varrentrapp, (18) et (19) Whitney, (20) (21) (22) et (23) Vom Rath, (24) L. von Werveckе.

s'y attendre, le remplacement de la soude par la chaux élève la réfringence du minéral.

2° Dans l'haüyne de quelques gisements, la potasse remplaçant partiellement la soude, il en résulte un certain trouble, puisque les sels potassiques sont moins réfringents que les sels sodiques équivalents.

3° Les cristaux d'haüyne montrant des zones concentriques dont l'indice n'est pas le même, doivent par conséquent être formés de couches inégalement riches en soude et en chaux. Ils sont, en somme, zonés comme les cristaux de feldspaths. Ce fait explique les différences fournies par les analyses des différents auteurs et il est aussi en concordance avec ce qui a été observé par Rammelsberg, vom Rath, etc. qui ont constaté que la noséane était quelquefois formée de couches de coloration différente.

Par conséquent, la mesure de l'indice de réfraction permet non seulement de différencier l'haüyne et la noséane, mais aussi de se faire une idée des quantités relatives de soude et de chaux existant dans le minéral à déterminer et, en outre, de reconnaître les zones concentriques dans les cas où la composition du minéral varie de la périphérie au centre.

La réfringence ne fournit pas de caractère suffisant pour distinguer la sodalite de la noséane; en effet, elle est à peu près la même dans les deux minéraux. Mais, tandis que celle de la seconde substance varie comme on l'a vu d'un gisement à l'autre ou même dans un même gisement, celle de la sodalite reste toujours à peu près constante; on devait s'attendre à ce résultat, puisque la composition chimique de cette dernière est elle-même à peu près constante et qu'il n'y a pas de mélange isomorphe avec un composé calcique comme pour la noséane.

Les indices de la sodalite sont donnés dans le Tableau suivant :

Sodalite de la Somma (K. Feussner)....	1,4839
» » »	1,4826
» » (Gaubert)..........	1,4835
» Ditro (Zimanyi)..........	1,4834
» de Bolivie (K. Feussner)......	1,4827
» » (Tschihatscheff)....	1,4858
» du Lac Baïkal (Gaubert)......	1,4841
» Kandgerdluarsuk (Gaubert)...	1,4858
» var. Hackmanite (Lujaur Urt) (Borgström)......	1,4868
» » Lujaur Urt (Gaubert)..........,	1,4850

Les différences observées pour les cristaux provenant des mêmes gisements sont du même ordre que celles existant dans ceux des diverses localités.

La coloration de l'haüyne ([1]) et de la noséane ([2]) présente, comme l'on sait, des particularités assez complexes. Tandis que l'haüyne de Mayen se décolore sous l'influence de la chaleur, la noséane prend parfois, dans les mêmes conditions, une teinte bleue, mais les différentes noséanes ne se comportent pas de la même manière.

Soumise à l'action d'une température modérée, la noséane de la leucophonolite verte de Burgberg prend une jolie teinte bleue, alors que, dans les mêmes conditions, les noséanes de la même région restent incolores à l'exception de celle de Roth Hardt, près de Rieden, qui devient violacée. Cette dernière, chauffée au rouge, se colore aussi en bleu, mais la teinte est moins foncée et moins belle que celle de la noséane de Burgberg. La couleur n'apparaissant qu'après refroidisse-

---

([1]) W.-C. Brögger et H. Bäckström, *Zeitsch. f. Kryst.*, t. XVIII, 1891, p. 223.

([2]) Vom Rath, *Zeitsch. d. geol. Gesellsch.*, 1863, p. 84. — L'historique de la question est donné dans ce travail.

ment, on facilite la coloration des échantillons chauffés en les plongeant brusquement dans l'eau froide. Ce procédé paraît même augmenter l'intensité de la teinte. La noséane des sanidinites du lac Laach, de la phonolite jaune de Burgberg, etc. devient légèrement bleue, par l'action d'une température élevée et après refroidissement. M. Wolff [1] avait déjà constaté que celle des sanidinites devenait bleue sous l'influence de la vapeur de soufre, mais l'intervention de cette dernière est inutile.

L'haüyne de l'andésite de Falgoux (Cantal) possède une teinte beaucoup plus foncée que celle des échantillons de Mayen. Ceux-ci sont, en effet, à peine colorés en lame mince, alors que, sous la même épaisseur, l'haüyne de Falgoux est bleu foncé. En outre, la couleur de cette dernière résiste à l'action de la chaleur à une température où celle des autres échantillons provenant de Mayen, du Vésuve, etc. a disparu.

La sodalite bleue se distingue de l'haüyne possédant la même couleur, par la rapidité avec laquelle elle se décolore sous l'influence de la chaleur; Whitney attribue ce fait à ce que la matière colorante est une substance organique [2], mais cela me paraît peu probable. Celle de Vensac (Cantal) présente un fait intéressant : chauffée, elle perd facilement sa couleur violacée; mais, si elle a été préalablement soumise à l'action de la vapeur de soufre, elle devient plus bleue qu'avant l'opération et cette dernière teinte est plus fixe que la première.

Les cristaux d'haüyne et de noséane de la région du lac de Laach sont très rarement biréfringents, et dans ce cas la double réfraction est toujours très faible. Si avec une pointe

---

(1) Wolff, *Zeitsch. d. geol. Gesellsch.*, 1868, p. 13.
(2) Whitney, *Pogg. Ann.*, Bd. 79, p. 431.

d'acier très dur ou mieux avec le sommet d'un cristal de quartz on exerce une pression sur la face du dodécaèdre rhomboïdal, il se produit, tout autour de la partie écrasée, des plages biréfringentes persistantes. Un examen attentif permet de se rendre compte qu'il existe deux directions perpendiculaires aux arêtes de la face b^1(110) suivant lesquelles la biréfringence est plus élevée que dans les deux autres parties. Il y a donc là un phénomène identique, mais beaucoup moins net, à celui qui a été observé dans la blende par M. R. Brauns. Ces deux directions coïncident avec la projection d'axes binaires du cristal sur la face b^1. Bien que les cristaux soient colorés en bleu, les parties devenues biréfringentes ne présentent pas de polychroïsme visible.

Augite. — Les cristaux de ce minéral sont presque incolores en lames minces ou verts. L'angle d'extinction du pyroxène vert est un peu plus petit que celui du pyroxène incolore, placé généralement au centre du cristal dans le cas où ce dernier est formé des deux variétés.

Les cristaux provenant de la transformation de l'amphibole sont orientés sur ce dernier minéral de façon que les axes verticaux coïncident. Ce fait, bien connu, montre que la cristallisation du pyroxène a commencé avant la destruction complète du cristal de hornblende.

Feldspaths. — Le feldspath dominant des enclaves est de l'oligoclase. Des cristaux isolés de ce minéral, atteignant 3^{cm}, ont été déterminés ainsi par vom Rath (1). Ce savant pensait qu'ils proviennent d'une syénite, alors que Lehmann (2) croit qu'au moins en partie ils ont été arrachés à un granite.

(1) Vom Rath, *Pogg. Ann.*, vol. CXLIV, 1871, p. 235 et 256.
(2) J. Lehmann, *Verhandl. d. nat. Ver. d. pr. Rheinlande und Westfalens*, t. XXXI, 1874, p. 10.

Ces cristaux isolés étant de même nature que ceux des enclaves, dont il est question dans cette note, il est vraisemblable que leur origine est la même, et qu'ils proviennent tous du magma ayant donné naissance à la lave.

Ces cristaux isolés sont assez transparents et contiennent quelquefois des inclusions de pyroxène.

La mesure des indices de réfraction faite sur un cristal isolé a donné les résultats suivants :

$$n_{gj} = 1,547$$
$$n_{mj} = 1,543$$
$$n_{pj} = 1,539$$

L'extinction dans la zone perpendiculaire au plan de symétrie est voisine de 0°.

Les cristaux de feldspath des enclaves sont de l'oligoclase ou de l'oligoclase-andésine, quelquefois ils sont constitués par les deux réunies, ce dernier étant au centre. Ils sont plus ou moins abondants, de telle sorte qu'on trouve tous les intermédiaires entre les enclaves formées surtout de feldspath seul et celles composées presque exclusivement de pyroxène ou d'amphibole. J'ai rencontré, dans les cavités miarolitiques d'une enclave à feldspath et à haüyne, des cristaux d'oligoclase ayant des formes cristallines, mais les faces sont plus ou moins recouvertes de figures en relief, rendant impossibles les mesures au goniomètre.

Les cristaux d'oligoclase présentent parfois quelques particularités intéressantes : ils contiennent alors dans leur partie externe des inclusions de magnétite tandis que le centre en est complètement dépourvu.

J'ai montré, dans un travail antérieur, que la formation des macles dans les cristaux de chlorure de sodium et d'urée n'a lieu que lorsque la cristallisation est rapide et, d'autre part, que l'action des matières étrangères, en sus-

pension dans le liquide, n'a pas d'influence évidente. Si l'on admet, par analogie, que la vitesse de formation des cristaux de feldspath intervient seule dans la production des macles, on voit que souvent cette vitesse n'a pas été la même pendant la production du noyau central et celle de la partie externe. En effet, le nombre de bandes que présentent ces deux parties est parfois très différent : tantôt c'est l'interne qui est la plus maclée et tantôt c'est l'externe, de telle sorte que, dans tous les cas, les deux variétés d'oligoclase formant le crital se distinguent facilement l'une de l'autre, par ce seul caractère.

La mesure de n_g faite sur différents cristaux de feldspath a donné les résultats suivants : n_{gj} = **1,551, 1,549, 1,548, 1,547, 1,545, 1,543, 1,542. 1,541.**

Ils caractérisent les oligoclases.

J'ai recueilli dans ce même gisement d'autres minéraux, tels que la magnétite, le fer oligiste, etc., ils ne présentent aucune particularité digne d'être notée.

Dans une prochaine Note j'étudierai les associations des minéraux qui viennent d'être passés en revue.

Sur un nouveau minéral, la giorgiosite;

Par M. A. Lacroix.

Je me suis proposé de rechercher sous quelle forme minéralogique se trouve le carbonate de magnésie que M. Fouqué a signalé [1] dans ses analyses des sels des fumerolles de l'éruption de 1866 à Santorin. Les échantillons que j'ai exa-

---

[1] *Santorin et ses éruptions*, 1879, p. 213.

minés m'ont été donnés par mon regretté maître. Ils consistent en croûtes salines, recueillies à la surface d'une fissure de la lave d'Aphroëssa; ils sont essentiellement formés par du chlorure de sodium, renfermant une petite quantité de carbonate, de sulfate de soude, de chlorure de magnésium. Le carbonate de magnésie enfin se présente, suivant les échantillons, sous la forme d'une poudre fine ou d'une matière floconneuse blanche très légère.

Ces divers produits, desséchés à 100° C., donnent, par calcination, de l'eau, de l'acide carbonique et un résidu de magnésie. Chauffés dans une solution d'azotate de cobalt, ils se colorent en lilas; ils sont solubles à froid, avec effervescence, dans les acides. On peut donc affirmer qu'ils ne sont pas constitués par de la giobertite, mais par un carbonate basique de magnésie. Les masses légères sont isotropes, la poudre fine est formée par de petits sphérolites radiés, isolés ou groupés, montrant, en lumière polarisée parallèle, la croix noire, avec signe positif d'allongement des fibres et une biréfrigérence d'environ 0,008 à 0,009.

La quantité de matière que j'ai à ma disposition est trop faible pour permettre une analyse quantitative, mais il est facile de voir que les propriétés de ces minéraux sont celles des différentes formes suivant lesquelles se présente la *magnésie blanche des pharmacies,* selon les conditions dans lesquelles on opère sa précipitation. La variété amorphe est comparable au précipité obtenu à froid ou à chaud sans prolongation de l'ébullition, et dont la composition est plus ou moins identique à celle de l'hydromagnésite : $3MgCO^3, Mg(OH)^2.3H^2O$.

Quant au type sphérolitique, il est identique au produit obtenu en maintenant pendant quelque temps à l'ébullition dans son eau mère le précipité précédent. J'ai constaté que les propriétés optiques de ce dernier corps ne diffèrent

en rien de celles du minéral naturel. Fritzsche a montré que le précipité cristallin, formé dans de semblables conditions, a la formule : $4MgCO^3.Mg(OH)^2.4H^2O$, correspondant à la composition centésimale suivante : $MgO = 42,215$; $CO^2 = 36,135$; $H^2O = 21,650$.

Cette substance étant pour la première fois observée dans la nature, je propose de la désigner sous le nom de *giorgiosite*, pour rappeler son gisement sur le Giorgios édifié par l'éruption de 1866.

L'examen microscopique des croûtes cristallines montre qu'elles sont formées par l'enchevêtrement de cubes de chlorure de sodium, riches en inclusions liquides; les carbonates de magnésie sont localisés dans leurs interstices, ils leur sont donc postérieurs. Par suite, ce ne sont pas des minéraux primaires de fumerolles, mais des produits secondaires, formés par la réaction mutuelle de ces derniers, quand la condensation de la vapeur d'eau a permis leur dissolution partielle. La giorgiosite a dû se former quand la lave était encore à haute température et le carbonate amorphe quand elle était déjà refroidie.

ERRATA.

Page 78, ligne 12 en remontant, *au lieu de* habitait *lisez* habitaient.

Le Secrétaire gérant :
MAURICE BLONDEL.

3529 Paris. — Imprimerie GAUTHIER-VILLARS, 55, quai des Grands-Augustins.

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE.

ANNÉE 1905. — BULLETIN N° 5.

Compte rendu de la Séance du 11 mai 1905.

PRÉSIDENCE DE M. FRÉD. WALLERANT.

Nouvelles recherches sur les silicotungstates.

Par M. G. WYROUBOFF.

A l'occasion d'un Mémoire sur les terres rares que nous préparons depuis longtemps, M. Verneuil et moi, j'ai repris avec plus de détails que je ne l'avais fait jadis, leurs combinaisons avec l'acide silicotungstique. J'ai montré que cet acide donnait un grand nombre de sels très bien caractérisés permettant de classer les métaux en groupes naturels et, dans les cas douteux, de se rendre compte de la valence de leurs oxydes. Il s'est trouvé ainsi que les terres de la cérite se rapprochaient beaucoup, par quelques-unes de leurs combinaisons, des terres alcalines et ne présentaient aucune analogie avec les sels des sesquioxydes.

Cette assimilation a été naturellement contestée, tant

l'illusion du *système périodique* domine encore les esprits, et l'on a cherché de divers côtés des analogies avec les métaux trivalents. On en a trouvé dans ces temps derniers. M. G. Bödeman a fait cristalliser en toute proportion le nitrate de bismuth avec les nitrates des terres de la cérite et M. Urbain a fait voir que le sel double $Bi^2O^3 3 N^2O^3, 3 MgO N^2O^5, 24 H^2O$ avait même composition et même forme que les sels depuis longtemps connus $M^2O^3 3 N^2O^5 MgO 3 N^2O^{\circ}, 24 H^2O$ et dans lesquels $M = \overset{'''}{Ce}, \overset{'''}{La}, \overset{'''}{Di}$, etc. Il était donc très intéressant de reprendre cette question qui a une grande importance pour la chimie des terres rares si peu faite encore, et pour la théorie de l'isomorphisme sur laquelle on est encore loin de s'entendre. S'il était établi d'une façon certaine que les oxydes de la cérite pouvaient dans les mélanges isomorphes remplacer d'une part Bi^2O^3 et d'autre part les monoxydes alcalino-terreux, il faudrait choisir entre ces deux explications possibles : ou bien l'atomicité du bismuth n'est pas celle qu'on lui attribue ou bien l'isomorphisme est un phénomène purement réticulaire n'ayant que des rapports indirects et non nécessaires avec la composition chimique. Dans le travail que je publie aujourd'hui j'ai essayé d'élucider ce point.

Au moment où je publiais mon Mémoire sur les silicotungstates [1], je n'avais, en dehors du thorium, du cérium et du lanthane, qu'un didyme global dont le poids atomique était bien à peu de chose près celui du néodidyme, mais qui renfermait certainement un peu de ses autres constituants, et un mélange quelconque de terres yttriques. Depuis j'ai pu avoir les produits très purs préparés par la maison Chenal et Douilhet et aussi la plupart des terres yttriques, grâce à l'obligeance de M. Urbain qui s'occupe, comme l'on sait, depuis longtemps déjà, de leur séparation. Cette revision

---

[1] *Bull. Soc. Minér.*, 1896.

générale m'a permis d'établir quelques groupes distincts dans ces deux grandes familles qu'on désignait sous le nom de *terres cériques* et de *terres yttriques*. J'aurais aussi l'occasion de rectifier quelques erreurs dans mes anciennes analyses et dans mes déterminations cristallographiques.

J'ai fait l'analyse par deux procédés différents après m'être assuré par de nombreux essais qu'ils donnaient des résultats concordants. En général j'ai suivi la marche que j'ai indiquée dans mon Mémoire et qui exige deux échantillons, l'un pour la pesée de l'eau à 105° et au rouge sombre, l'autre pour le dosage de l'acide silicotungstique précipité par le nitrate mercureux et le dosage de la base par évaporation de la liqueur filtrée, et calcination du résidu ou, plus rapidement, par précipitation de cette liqueur au moyen de l'ammoniaque qui entraîne en même temps la plus grande partie du mercure qu'elle contient. Dans les cas où la quantité de matière que j'avais à ma disposition était très limitée, je me contentais d'une seule prise d'essai. Après avoir dosé l'eau je fondais le résidu devenu insoluble avec le carbonate de soude. La fusion se fait rapidement en creuset fermé à température relativement basse, et le culot qui se détache facilement est traité par l'eau. On s'attendrait à avoir là une réaction très nette et très simple : formation de tungstate et de silicate de soude et résidu d'oxyde insoluble. Il n'en est rien et le corps qu'on recueille sur le filtre est un silicate qui, dans le cas des silicotungstates neutres, est un orthosilicate $SiO^2 2\overset{''}{M}O$. Il suffit de le traiter par un peu d'acide nitrique et évaporer à 110°. En reprenant par l'eau on a d'une part la silice qu'on dose directement, et de l'autre l'oxyde qu'on précipite par l'ammoniaque.

FAMILLE CÉRIQUE.

On admet généralement que cette famille se compose du *cérium*, du *lanthane*, du *praséodidyme*, du *néodidyme* et du *samarium*. Je vais montrer qu'il faut y ajouter le *gadolinium* et la diviser en deux groupes nettement distincts.

1. — *Groupe du cérium.*

Ce groupe comprend trois éléments : le *cérium*, le *lanthane* et le *praséodidyme*. Il donne des sels neutres à $27H^2O$ et des sels acides de la forme $2[12TuO^3.SiO^2]3MOH^2O, 36H^2O$.

1. *Cérium.* — Sel *neutre* tantôt clinorhombique, tantôt rhomboédrique *positif* extrêmement peu biréfringent, tantôt enfin maclé par croisement ternaire au point de ne donner aucune image axiale. Il est à $27H^2O$ et je n'ai rien de nouveau à ajouter à la description que j'en ai donnée dans mon Mémoire.

Sel acide. — De même que tous les sels acides de la famille il est à $36H^2O$ et non à 34 comme je l'avais indiqué. Il est probable que j'ai analysé des cristaux qui étaient restés quelque temps à l'air où ils perdent à la longue un peu d'eau. Ce qui est certain, c'est que les nombreuses analyses que je viens de faire, aussi bien du sel de cérium que des sels isomorphes, conduisent nettement à la formule à $36H^2O$ [1].

---

[1] Je rappelle que dans toutes les analyses je désigne par Aq l'eau qui est chassée à 105°.

			Trouvé.	
$2[12TuO^3.SiO^2]$..	83,13		83,25	
$3CeO$.............	4,90		4,96	
$20H^2O$............	5,39	9,97	5,32	9,94
$17Aq$........	4,58		4,62	
	100,00		100,15	

Lanthane. — Le *sel neutre*, comme celui du cérium, présente la composition et les propriétés que j'ai décrites dans mon Mémoire.

Le *sel acide* a la composition $2[12TuO^3.SiO^2]3LaOH^2O$, $36H^2O$.

			Trouvé.		
$2[12TuO^3.SiO^2]$..	83,17		83,25	83,22 (p. d.)	
$3LaO$............	4,85		4,99	4,83	
$18H^2O$..	4,86	9,98		4,84	9,95
$19Aq$............	5,12		9,76 (p. d.)	5,11	
	100,00		100,00	100,00	

Les deux sels ont été préparés avec du lanthane rigoureusement pur.

Praséodidyme. — L'oxyde qui m'a servi est celui qui a donné le sulfate étudié par M. Dufet [1] et qui semble être aussi pur que possible. J'ai eu deux sels :

Sel neutre.

			Trouvé.	
$[12TuO^3.SiO^2]$....	80,11		80,27	
$2PrO$..............	6,20		6,26	
$9H^2O$.............	4,54	13,69	4,56	13,61
$18Aq$.............	9,15		9,05	
	100,00		100,14	

[1] *Bull. Soc. Minér.*, t. XXIV, 1901, p. 373.

Ce sont des pseudo-rhomboèdres extrêmement peu biréfringents, positifs, parfaitement semblables à ceux des sels correspondants du cérium et du lanthane et présentant comme eux de nombreuses anomalies optiques.

Sel acide. — $2[12TuO^3.SiO^2]PrOH^2O, 36H^2O$.

			Trouvé.	
			I.	II.
$2[12TuO^3.SiO^2]$..	85,10		85,22	85,42 (p. d.)
$3PrO$............	4,94		5,01	4,83
$20H^2O$...........	5,24	9,96		5,26 } 9,75
17 Aq............	4,72		9,77 (p. d.)	4,49
	100,00		100,00	100,00

2. — *Groupe du néodidyme.*

Ce groupe se compose du *néodidyme*, du *samarium* et du *gadolinium*. Il est caractérisé par l'existence de *deux* hydrates pour le sel neutre et d'un sel acide identique à ceux du groupe précédent.

Néodidyme. — *Sel neutre : a.* $[12TuO^3.SiO^2]2NdO, 27H^2O$; et *b.* $[12TuO^3.SiO^2]2NdO, 26H^2O$.

	a.		Trouvé.	
$[12TuO^3.SiO^2]$..	80,02		80,03	
$2NdO$...........	6,30		6,24	
$9H^2O$...........	4,57	13,68	4,67	(p. d.) 13,73
18 Aq............	9,11		9,06	
	100,00		100,00	

	b.		Trouvé.	
[$12TuO^3.SiO^2$]..	80,42		80,42 (p. d.)	
$2NdO$...........	6,33		6,23	
$9H^2O$...........	4,59	13,44	4,41	13,35
17Aq...........	8,65		8,94	
	100,00		100,00	

Ces analyses concordent parfaitement avec mes analyses anciennes et les propriétés géométriques sont bien celles que j'ai décrites. Le composé *a* est un pseudo-rhomboèdre optiquement *positif* extrêmement biréfringent avec

$$pa^1(\bar{1}101\ 0001) = 108°.$$

Le composé *b* est également rhomboédrique, mais uniaxe *négatif* beaucoup plus biréfringent avec

$$pa^1(\bar{1}101\ 0001) = 117°30'$$

et un clivage basique très facile.

Sel acide. — Il a pour formule $2[12TuO^3.SiO^2]3NdOH^2O, 36H^2O$.

			Trouvé.		
			I.	II.	
$2[12TuO^3.SiO^2]$..	85,02		85,09	85,23 (p. d.)	
$3NdO$............	5,02		4,85	4,95	
$20H^2O$...........	5,39	9,96		5,14	9,82
17Aq.............	4,57		10,06 (p. d.)	4,68	
	100,00		100,00	100,00	

Samarium. — Ici encore on a deux sels neutres *a* et *b* et un sel acide.

a.

			Trouvé.	
12[$TuO^3.SiO^2$]..	80,25		80,00	
2SmO...........	6,54		6,57	
8H^2O...........	4,19	13,21	4,30	13,36
18Aq............	9,02		9,05	
	100,00		99,92	

b.

			Trouvé.	
12[$TuO^3.SiO^2$]..	79,84		79,73	
2SmO	6,51		6,56	
10H^2O..........	5,06	13,65	5,07	13,80
18Aq............	8,59		8,73	
	100,00		100,09	

Le sel *a* est en rhomboèdres basés, à peu près uniaxes positifs avec $pa^1(\bar{1}101\ 0001) = 107°55'$.

Le sel *b* est également en rhomboèdres, mais assez biréfringents, *négatifs*, avec dislocation de la croix, parfois même des axes plus ou moins écartés; l'angle $pa^1 = 116°40'$, et il existe un clivage facile suivant la base.

Sel acide. — On ajoute à la solution du sel précédent de l'acide nitrique et l'on cristallise à 25°-30°. Cristaux généralement mal formés, mais tout à fait semblables aux sels acides de la famille cérique.

			Trouvé.		
			I.	II.	
2[12$TuO^3.SiO^2$]..	84,87		84,79	85,02 (p. d.)	
3SmO	5,19		5,42	5,27	
20H^2O...........	5,38	9,94		5,19	9,71
17Aq.............	4,56		9,79 (p. d.)	4,52	
	100,00		100,00	100,00	

Gadolinium. — Nous retrouvons ici les trois sels caractéristiques du groupe — la gadoline n'appartient donc pas aux terres yttriques qui donnent, comme je vais le montrer, des composés tout différents. Cette conclusion est en contradiction avec l'opinion courante, mais il faut remarquer que cette opinion, qui n'est basée que sur de vagues considérations relatives à la marche des fractionnements, ne s'appuie sur aucun argument sérieux. Je sais bien que M. Benédicks (1), dans son intéressant travail sur le gadolinium, a trouvé l'isomorphisme du platino-cyanure avec le sel correspondant d'yttrium étudié jadis par M. Topsoë et tout différent des platino-cyanures des terres cériques.

Mais ce fait n'a pas grande valeur et cela pour plusieurs raisons. A l'époque ou M. Topsoë publiait ses recherches (1873), aucune des terres cériques ou yttriques n'était connue à l'état de pureté, même approximative, et l'on opérait sur des mélanges de composition très variable.

En second lieu, on n'a étudié que les sels qui se déposaient au hasard de la cristallisation, sans chercher à savoir s'il n'y avait pas d'autres hydrates ou d'autres formes cristallines. Enfin l'analyse de M. Benédicks lui-même va à l'encontre de sa thèse. Il a trouvé, en effet, que le sel de gadolinium avait $6H^2O$ comme le sel de cérium, tandis que le sel d'yttrium, géométriquement isomorphe, a $7H^2O$. L'isomorphisme ici n'est donc nullement chimique et la question mérite, en tout cas, d'être examinée de plus près.

---

(1) *Z. f. anorg. Chem.*, t. XXII, 1900, p. 392.

a.

			Trouvé.	
$[12TuO^3.SiO^2]$..	80,07		80,10 (p. d.)	
$2GdO$.........	6,75		6,90	
$10H^2O$..........	5,08	13,18	4,75	13,00
16Aq............	8,10		8,25	
	100,00		100,00	

b.

			Trouvé.	
$[12TuO^3.SiO^2]$..	79,66	85,89		
$2GdO$	6,23		86,19 (p. d.)	
$9H^2O$............	4,54	13,61	4,81	13,81
18Aq............	9,07		9,00	
	100,00		100,00	

Le sel *a* est en pseudo-rhomboèdres à peu près uniaxes *négatifs* assez biréfringents avec $pa^1(\bar{1}101\ 0001) = 116°48'$ et clivage basique. Le sel *b* est en pseudo-rhomboèdres très peu biréfringents à peu près uniaxes *positifs* sans clivage avec $pa^1 = 108°$ environ. Mais à côté de ces deux sels neutres, qu'on trouve dans tout le groupe du néodidyme, il en existe un à $30H^2O$ qu'on ne rencontre ni dans ce groupe, ni dans le groupe cérique, ni dans la famille des terres de l'yttria, mais qui existe avec les mêmes caractères géométriques et optiques pour le thorium, comme je le montrerai plus loin.

c.

			Trouvé.	
$[12TuO^3.SiO^2]$..	78,47		78,42 (p. d.)	
$2GdO$...........	6,63		6,50	
$10H^2O$..........	4,97	14,90	5,00	15,08
20Aq...........	9,93		10,08	
	100,00		100,00	

Ce sont encore des rhomboèdres basés géométriquement

semblables à ceux du sel à 27 H^2O, mais fort différents optiquement, car ils sont assez biréfringents uniaxes *positifs*, comme les sels à 26 H^2O. On n'y constate aucune anomalie.

Des cristaux très nets m'ont donné :

1 : 2.6238.

Angles.	Calculés.	Mesurés.
pa^1(1̄101 0001).........		*108° 16′
pp(1̄101 101̄1).........	69° 24′	69° 26′

Sel acide. — Je me suis assuré par de nombreux essais, en variant la quantité d'acide nitrique ajouté et la température, qu'on obtenait toujours le même composé $2[12TuO^3.SiO^2]$ $3GdOH^2O$, $36H^2O$ et qu'il ne se déposait jamais de sel de la forme $2[12TuO^3.SiO^2]$, $3GdOH^2O$, $49H^2O$, caractéristique de la famille yttrique. J'ai fait de nombreuses analyses de ce sel préparé dans les conditions les plus diverses ; toutes sont concordantes et démontrent, de la façon la plus nette, l'isomorphisme avec les sels de la famille cérique.

			I.		II.		III.	
$2TuO^3.SiO^2$]..	84,72		84,98		84,80 (p. d.)		84,75	
IO............	5,36		5,58		5,37		5,50	
I^2O............	5,10	9,92	4,89	9,77	5,03	9,83	5,03	9,87
ıq.............	4,82		4,88		4,80		4,84	
	100,00		100,33		100,00		100,12	

Mais l'isomorphisme ici n'est pas seulement dans la formule chimique, il est aussi dans la forme cristalline que j'ai pu déterminer avec une suffisante approximation sur de petits cristaux assez réfléchissants déposés par évaporation à 25°. On trouvera dans la dernière colonne les chiffres que j'avais donnés dans mon Mémoire pour le sel du néodidyme.

Les faces observées sont $p(001)$, $g^1(010)$, $t(110)$, $d^{\frac{1}{2}}(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$, $c^{\frac{1}{2}}(\bar{1}\bar{1}1)$, et $i^{\frac{1}{2}}(021)$.

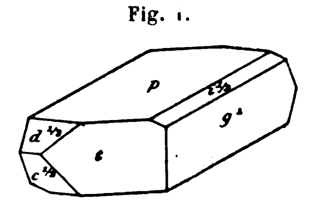
0,4127 : 1 : 0,4393.

$h^1g^1(100\ 010) = 84^\circ.1'$, $\alpha = 84^\circ.9'$;
$^*pg^1(001\ 010) = 89.6$, $\beta = 89.20$;
$ph^1(001\ 100) = 92.39$, $\gamma = 92.35$.

Angles.	Calculés.	Mesurés.	Nd.
$pt(001\ 110)$.....		* 92°.12′	92°.36′
$tg^1(110\ 010)$.....		*107.18	105.56
$d^{\frac{1}{2}}p(1\bar{1}1\ 001)$...		*131.26	131.30
$d^{\frac{1}{2}}t(1\bar{1}1\ 110)$ ...		*123.54	125.4
$d^{\frac{1}{2}}g^1(1\bar{1}1\ 0\bar{1}0)$..	110°.48′	110.46	110.30
$c^{\frac{1}{2}}p(\bar{1}11\ 001)$ ...	128.14	128	
$c^{\frac{1}{2}}g^1(\bar{1}11\ 010)$...	110.34	110.30	
$pi^{\frac{1}{2}}(001\ 021)$....	138.11	138.10	

Comme dans les sels analogues de la famille cérique, on

Fig. 1.



voit l'un des axes optiques à travers la face g^1 et presque au centre du champ.

FAMILLE YTTRIQUE.

Grâce à M. Urbain j'ai eu à ma disposition les terres suivantes : *yttria, terbine, l'ytterbine, erbine* en quantité suffisante pour faire de chacune d'elles environ 25g de silicotungstate. Quoique toutes ces terres se ressemblent beaucoup au point de vue de leurs caractères chimiques et qu'elles ne se séparent qu'avec une extrême difficulté, l'acide silicotungstique permet de les ranger dans deux groupes distincts.

1. — *Groupe de l'yttria.*

Ce groupe se distingue du groupe du cérium par l'existence d'un sel neutre à $26H^2O$ en rhomboèdres optiquement *négatifs,* du groupe de néodidyme par l'absence d'un sel neutre à $27H^2O$ en rhomboèdres *positifs,* et de toute la famille cérique par un sel acide particulier $2[12TuO^3.SiO^2]3MOH^2O, 49H^2O$. Il comprend trois terres : l'*yttria,* la *terbine* et l'*ytterbine.*

Yttrium. — *Sel neutre* $[12TuO^3.SiO^2]2YO, 26H^2O$.

			Trouvé.	
$[12TuO^3.SiO^2]$..	82,15		82,44	
$2YO$............	4,34		4,15	
$10H^2O$..........	5,19	13,51	4,94	13,39
$16Aq$............	8,32		8,45	
	100,00		99,98	

Ce sont des pseudo-rhomboèdres basés assez biréfringents, *négatifs,* avec dislocation de la croix ; clivage facile suivant la base ; pa^1 (1101 0001) = 116°50′.

Sel acide. — Dans mon Mémoire j'ai décrit un sel acide

préparé avec un mélange de terres yttriques de composition inconnue, mais exempt de terres cériques ; je lui ai attribué une formule avec 51 H^2O et l'avais trouvé triclinique. C'est là une double erreur qui s'explique sans difficulté, et qui montre avec quelle circonspection il faut étudier ces composés. Mon sel était *d'un rose très prononcé ;* il renfermait donc en majeure partie de l'erbine. Or, une solution de silicotungstate d'erbium additionnée d'acide nitrique donne, comme on le verra plus loin, deux sortes de cristaux : au fond du cristallisoir les cristaux tricliniques que j'avais mesurés, sur les bords des cristaux en apparence identiques mais qui sont en réalité rhomboédriques, et que j'avais analysés. Les premiers sont à 49 H^2O, les seconds à 51 H^2O.

Quant à mon erreur cristallographique elle tient à ce que, dans ces cristaux généralement maclés au point de ne présenter aucune image axiale dans aucune direction, les différences angulaires que j'avais constatées avaient pour cause l'imperfection des faces, non un défaut de symétrie. Des cristaux, moins imparfaits et surtout plus simples, dans lesquels les propriétés optiques facilitent l'orientation, me permettent d'affirmer que la forme est réellement clinorhombique.

			Trouvé.	
$2[12TuO^3.SiO^2]$..	83,46		83,45 (p. d.)	
3 YO	3,33		3,23	
$17H^2O$	4,49	13,21	4,50	13,32
33 Aq	8,72		8,82	
	100,00		100,00	

En cristallisant par refroidissement et en s'arrangeant de façon à n'avoir qu'un petit nombre de cristaux à la fois, on a souvent, aussi bien dans le sel yttrique que dans les autres sels analogues du groupe, des individus simples, très petits,

il est vrai, mais donnant des mesures très passables. La figure 2 montre mon ancienne orientation, les figures 3, 4,

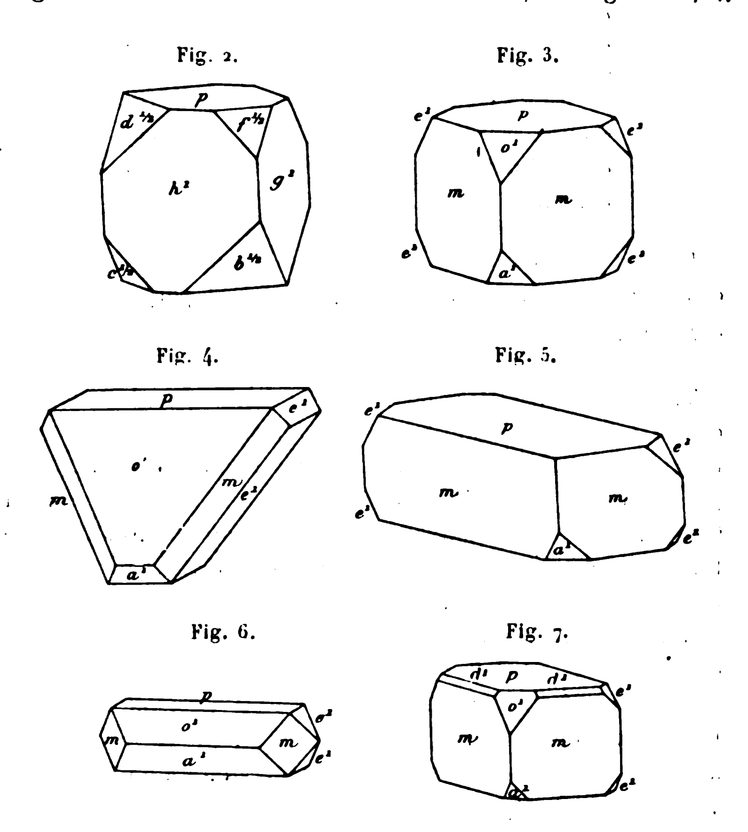


Fig. 2. Fig. 3. Fig. 4. Fig. 5. Fig. 6. Fig. 7.

5, 6 et 7 l'orientation nouvelle qui est celle d'un cuboctaèdre rapporté à deux axes binaires et à un axe quaternaire.

Faces observées : $p(001)$, $m(110)$, $a^1(\bar{1}01)$, $e^1(011)$ (*fig.* 4 et 5).

$$1.0446 : 1 : 1.4835, \qquad \gamma = 92^\circ.4'.$$

Angles.	Calculés.	Mesurés.
		° ′
$mm(1\bar{1}0\ 110)$.........		* 87.32
$mp(110\ 001)$..........		* 91.26
$e^1p(011\ 001)$..........	° ′	*124
$e^1m(011\ 110)$.........	127.47	127.46
$e^1m(011\ \bar{1}10)$.........	125.47	125.42
$a^1p(\bar{1}01\ 001)$..........	123.46	123.40
$a^1m(\bar{1}01\ \bar{1}10)$.........	124.17	

Les cristaux éteignent exactement suivant les arêtes a^1p et e^1p, et le plan des axes très écartés est perpendiculaire à g^1(010).

Terbium. — L'oxyde obtenu par la calcination de l'oxalate ou du nitrate est d'un brun très foncé; la calcination de l'hydroxyde donne un corps presque noir rappelant le peroxyde du praséodidyme. Les sels ne donnent aucun spectre d'absorption dans la partie visible du spectre. L'oxyde fortement calciné ne se dissout que très difficilement dans l'acide silicotungstique, même à chaud, mais la combinaison se fait facilement en évaporant au bain-marie les quantités calculées d'acide et de nitrate ou de chlorure. En reprenant par un peu d'eau on a une solution incolore cristallisant très facilement et donnant, à toutes les températures, un sel à $26H^2O$. M. Urbain a trouvé que le poids atomique était très voisin de Tr = 107.

Sel neutre.

			Trouvé.	
$[12TuO^3.SiO^2]$...	79,93		79,72	
$2TrO$............	6,91		7,01	
$9H^2O$............	4,56	13,16	4,70	(p. d.) 13,27
$17Aq$............	8,60		8,57	
	100,00		100,00	

Ce sont des rhomboèdres avec une base largement développée suivant laquelle il y a un clivage très facile, et le prisme $e^2(10\bar{1}0)$. Ils sont presque uniaxes *négatifs* assez biréfringents.

1 : 1.7043.

Angles.	Calculés.	Mesurés.
$pa^1(0001\ \bar{1}101)$		*116°56′
$pp(\bar{1}101\ 10\bar{1}1)$	78°53′	78°42′

Sel acide. — Lorsqu'on ajoute à la solution du sel précédent une certaine quantité d'acide nitrique, on a, à une température d'autant plus basse que la quantité d'acide ajoutée est plus grande, le sel $2[12TuO^3.SiO^2]$, $3TrOH^2O$, $49H^2O$.

			Trouvé.	
$2[12TuO^3.SiO^2]$..	81,76		81,46	
$3TrO$	5,30		5,50	
$17H^2O$	4,40	12,94	4,18	12,80
$33Aq$............	8,54		8,62	
	100,00		99,76	

Il est rigoureusement isomorphe avec le sel yttrique, quoique les cristaux aient parfois des apparences différentes (*fig.* 6). Faces observées : $p(001)$, $m(110)$, $o^1(101)$, $a^1(\bar{1}01)$, $e^1(111)$.

1.0270 : 1 : 1.4132, $\gamma = 92°39'$.

Angles.	Calculés.	Mesurés.
$mm(1\bar{1}0\ 110)$.........		* 88.32
$mp(110\ 001)$..........	91.51	91.48
$o^1p(101\ 001)$..........		*127.44
$a^1p(\bar{1}01\ 001)$..........		*124.16
$a^1m(\bar{1}01\ \bar{1}\bar{1}0)$.........	123.55	124
$pe^1(001\ 011)$...........	125.19	125.16

Les propriétés optiques sont les mêmes que dans le sel d'yttria.

Ytterbium. — L'oxyde fortement calciné se dissout très difficilement dans l'acide silicotungstique; il faut donc dissoudre l'hydroxyde, ou plus simplement le nitrate et évaporer plusieurs fois au bain-marie de façon à chasser complètement l'acide nitrique.

Sel neutre. — Cristallisé sur l'acide sulfurique à 20°, il donne un sel à $26H^2O$ pseudo-rhomboédrique, nettement biaxe, se maclant rapidement au sortir de l'eau mère et devenant uniaxe ou à peu près, assez biréfringent et *négatif.* De toutes les terres rares l'ytterbium est la seule présentant ce phénomène, qui est au contraire habituel dans les pseudo-rhomboèdres *positifs* des sels de la famille cérique à $27H^2O$.

$[12TuO^3.SiO^2]$ ...	79,57		79,55	
$2YbO$ ...	7,33		7,10	
$9H^2O$ ...	4,51	13,10	4,38	13,28
17Aq ...	8,59		8,80	
	100,00		99,83	

Outre le rhomboèdre et la base généralement très développée, on observe encore souvent le prisme hexagonal $e^2(10\bar{1}0)$.

1 : 1.6997.

Angles.	Calculés.	Mesurés.
pe^2 (0001 $10\bar{1}0$) ...		*153°
pa (0001 $\bar{1}101$) ...	117°	
pp ($\bar{1}101$ $10\bar{1}\bar{1}$) ...	79°	79°10′

Sel acide. — En ajoutant de l'acide nitrique à la solution du sel précédent, on a un composé chimiquement, géomé-

triquement et optiquement isomorphe avec les sels acides d'yttrium et de terbium.

		I.	II.
$2[12TuO^3.SiO^2]$..	81,48	81,45	81,44 (p. d.)
3YbO............	5,63	5,71	5,56
$17H^2O$...........	4,39 } 12,89		4,48 } 13,00
33Aq............	8,50 }	12,84 (p. d.)	8,52 }
	100,00	100,00	100,00

Les cristaux simples, très rares du reste, et qu'on obtient surtout par refroidissement, ont tantôt la forme de la figure 5, tantôt celle de la figure 7. Les faces observées sont $p(001)$, $m(110)$, $o^1(101)$, $a^1(\bar{1}01)$, $e^1(011)$, $d^1(112)$.

$$1.0336 : 1 : 1.4747, \quad \gamma = 92°5'.$$

Angles.	Calculés.	Mesurés.
	° ′	° ′
$mm(1\bar{1}0\ 110)$.........		* 88.2
$mp(110\ 001)$..........	91.25	91.32
$o^1p(101\ 001)$..........		*126.28
$mo^1(110\ 101)$.........	125	125.2
$a^1p(\bar{1}01\ 001)$.........		*123.40
$ma^1(\bar{1}\bar{1}0\ \bar{1}01)$........	124.20	
$d^1p(112\ 001)$..........	135.2	135.2
$d^1d^1(1\bar{1}2\ 112)$........	118.54	
$e^1p(011\ 001)$..........	124.9	124
$e^1m(011\ 110)$.........	127.32	127.30

Les propriétés optiques sont les mêmes que celles qu'on constate dans les sels correspondants de l'yttrium et du terbium.

2. — *Groupe de l'erbium.*

L'erbium est-il le seul élément de ce groupe ou bien d'autres éléments parmi ceux que je n'ai pas eu l'occasion

d'examiner, le *holmium*, le *thullium*, l'*europium*, le *scandium* et ceux qui seront certainement découverts plus tard, en font-ils partie ? C'est là une question que l'avenir seul pourra résoudre. Ce qui est certain, c'est que l'erbium est une terre qui ne ressemble à aucune des autres terres rares. On peut même dire qu'elle ne ressemble à aucun des très nombreux mono- ou sesquioxydes dont j'ai pu étudier les silicotungstates. Son caractère propre, celui qui la distingue à première vue, c'est *qu'elle ne donne de sel neutre dans aucune condition*.

A l'état calciné, elle ne se dissout presque pas dans l'acide silicotungstique, même après une longue ébullition. Si l'on se sert du nitrate, qu'on évapore à sec au bain-marie et qu'on cristallise la solution du résidu, on obtient invariablement un sel acide parce que tout l'acide nitrique n'est pas chassé ; on peut, il est vrai, s'en débarrasser complètement en évaporant plusieurs fois à 100°, mais alors on a un résidu complètement insoluble et la liqueur après filtration donne encore un sel acide. Enfin, si l'on sature progressivement une quantité donnée d'acide silicotungstique par une quantité équivalente d'hydroxyde d'erbium soigneusement lavé, on a dans les premiers moments une solution limpide, puis apparaît un précipité blanc, gélatineux, tout à fait insoluble et facilement lavable, et la liqueur filtrée dépose comme dans le cas précédent un sel acide. La raison de ce fait, en apparence singulier, est facile à concevoir. L'erbine, de même que d'autres oxydes, C^3O^4, ThO, Fe^2O^3, SnO^2, se condense avec une extrême facilité, donne un métaoxyde qui, comme tous les métaoxydes, forme avec les acides polyvalents des sels tout à fait insolubles. On constate la formation de ce métaoxyde lorsqu'on précipite le nitrate ou le chlorure par un excès d'ammoniaque même à chaud, et lorsqu'on essaie de laver le précipité ; très rapidement le précipité devient soluble,

donnant une solution colloïdale, qui bouche bientôt le filtre et dans laquelle on retrouve de grandes quantités d'erbine avec très peu d'acide nitrique ou chlorhydrique. Pour avoir l'hydroxyde pur, il faut le traiter plusieurs fois par l'ammoniaque, en chauffant chaque fois. Cette faculté de polymérisation qui n'existe à ce degré dans aucune autre terre de la famille yttrique peut servir, si elle est convenablement appliquée, à la séparation facile de l'erbine, comme elle a servi à Verneuil et à moi pour la séparation du cérium.

La faible quantité de matière que j'avais à ma disposition ne m'a pas permis de pousser plus loin cette étude et de déterminer exactement la composition du silicotungstate insoluble qui se déposait. Voici les seuls renseignements que je puisse donner : 22g, 394 d'acide silicotungstique ont été saturés par 2g ErO (acide et base calculés à l'état anhydre). Ils ont donné 2g, 295 de précipité insoluble calciné ; le précipité renfermait 0g, 371 de ErO et, par conséquent, 1g, 194 d'acide silicotungstique. Le rapport entre l'acide resté en solution et l'acide précipité est de 20,47 : 1,924 ou 21 : 2. D'autre part, le rapport de l'acide à la base dans le corps insoluble est de 2 : 9. Ces chiffres, que je donne sous toutes réserves, n'ayant pu les contrôler par de nouvelles analyses faites sur d'autres préparations, conduisent à une équation de partage et à un composé très compliqués. Peut-être les choses se passent-elles de façon beaucoup plus simple, comme, par exemple :

$$11[12TuO^3.SiO^2]2ErO = 10[12TuO^3.SiO^2]^2 3ErO + [12TuO^3.SiO^2]2(ErO)^2.$$

Quoi qu'il en soit, on n'a dans toutes les conditions qu'un sel acide même en l'absence d'acide minéral dans la solution, ce qui ne s'observe pour aucune des terres cériques ou yttriques que j'ai pu examiner jusqu'à présent. Le sel acide

donne deux hydrates différents. Lorsqu'on évapore à la température ordinaire une solution ne renfermant pas d'acide nitrique on a un sel

(*a*) $2[12TuO^3.SiO^2]3ErOH^2O, 51H^2O$.

Il est en rhomboèdres absolument semblables géométriquement et optiquement à ceux des sels neutres des autres terres yttriques à $26H^2O$. *Or, dans le sel acide d'erbium, le rapport entre l'acide et la totalité de l'eau est précisément de* 1 : 26. Ce résultat fort singulier et tout à fait insolite m'a fait longtemps hésiter à admettre cette formule, et j'ai fait de nombreuses analyses sur des cristaux obtenus dans des conditions variées.

J'en donne ici quelques-unes :

			I.	II.	
$2[12TuO^3.SiO^2]$...	81,19		80,98	81,13 (p. d.)	
$3ErO$.............	5,44		5,58	5,25	
$18H^2O$.............	4,64	13,37		4,92	13,62
34Aq...............	8,73		13,44 (p.d.)	8,70	
	100,00		100,00	100,00	

			III.		IV.	
$2[12TuO^3.SiO^2]$...	81,19		81,37 (p.d.)		81,14	
$3ErO$.............	5,44		5,26		5,44	
$18H^2O$.............	4,64	13,37	4,84	13,37	4,64	(p.d.) 13,42
34Aq...............	8,73		8,53		8,78	
	100,00		100,00		100,00	

Les numéros I et II se rapportent à un sel préparé par mélange de nitrate d'erbium et d'acide silicotungstique et renfermant par conséquent un peu d'acide nitrique. Première et seconde cristallisation par évaporation sur l'acide sulfurique à 16°.

Le numéro III est un sel préparé en saturant l'acide silicotungstique par l'hydroxyde, filtrant pour séparer le corps

insoluble et cristallisant sur l'acide sulfurique à 16°. Enfin, le numéro IV est le même sel que le précédent, mais cristallisé à 30°. Le sel neutre à $26H^2O$ exigerait :

$12TuO^3.SiO^2$	79,75
$2ErO$	7,12
$26H^2O$	13,13
	100,00

par conséquent des chiffres fort différents de ceux que j'ai trouvés. Mon ancienne analyse du mélange yttrique que j'avais calculée avec $50H^2O$ et qui correspond mieux à $51H^2O$. surtout pour l'acide silicotungstique qui se dose exactement au nitrate mercureux, n'a en réalité aucune valeur et doit être considérée comme non avenue. En effet, l'excès relativement considérable de base trouvée et que je ne m'expliquais pas, montre clairement que cette base dont le poids moléculaire était de $\overset{''}{M}O = 88,6$ s'était beaucoup enrichie en erbine dont le poids moléculaire est de 127. Les cristaux présentent le rhomboèdre primitif, la base et le plus souvent le prisme hexagonal $e^2(10\bar{1}0)$

1 : 1,7244.

Angles.	Calculés.	Mesurés.
pa $\bar{1}\bar{1}01$ (0001)		*116°40′
pp $\bar{1}\bar{1}01$ $(00\bar{1}\bar{1})$	78°16′	78°30′

A peu près uniaxes *négatifs* assez biréfringents. Lorsqu'on ajoute à la solution une certaine quantité d'acide nitrique, on observe à côté des rhomboèdres qui occupent généralement les parois latérales du cristallisoir, des cristaux clinorhombiques de l'hydrate à $49H^2O$ qui se déposent au fond. Si la quantité est plus grande on n'a plus que les cristaux de ce dernier hydrate.

			I.		II.
$2[12TuO^3.SiO^2]$ ...	81,65		81,51		81,64
3ErO........	5,42		5,57		5,30
$18H^2O$	4,67	12,93	4,81	13,06	
32Aq...............	8,26		8,25		
	100,00		100,14		

Malgré de nombreuses cristallisations faites dans les conditions les plus diverses, je n'ai pas pu avoir de cristaux simples, comme pour les sels des trois terres précédentes. J'ai toujours obtenu des macles sans aucune extinction, semblables à celle que j'ai décrite dans mon Mémoire et dont les faces ne permettaient pas de mesures quelque peu exactes. Quel est au juste le caractère de ces macles évidemment très complexes, car elles ne présentent aucune régularité? Je l'ai cherché pendant longtemps examinant un grand nombre d'individus et taillant des lames dans toutes les directions, sans être arrivé à trouver dans chaque cas particulier la loi qui régit l'assemblage. Cela tient à deux raisons. Ces macles ne sont pas des hémitropies, comme je l'avais cru, elles n'ont pas de plans d'accolement, elles sont produites par des rotations plus ou moins complètes autour d'axes de pseudo-symétrie. D'autre part, la forme est extrêmement voisine du cube, de telle sorte que la rotation peut se produire et se produit en effet successivement ou simultanément, autour des axes binaires, ternaires et quaternaires. Il en résulte, dans un même cristal, des parties qui n'éteignent dans aucune direction, d'autres où les directions d'extinction sont variables, d'autres enfin où les extinctions sont normales. C'est là certainement le cas le plus complexe d'assemblage cristallin que j'aie rencontré dans ma longue pratique. Le Tableau suivant résume les silicotungstates des terres rares examinées. Ces terres se rangent, comme l'on voit, en un certain nombre de familles et de groupes, mettant ainsi

un peu d'ordre dans cette longue liste d'éléments possédant en apparence les mêmes fonctions chimiques. Les terres que je n'ai pas eu l'occasion d'étudier et celles qu'on décrira certainement encore, viendront se placer soit dans, soit entre ces groupes naturels.

I. — FAMILLE DU THORIUM.

Sels neutres.	Sels acides.
$[12TuO^3.SiO^2]2ThO, 30Aq$	$3[12TuO^3.SiO^2]2ThO, 4H^2O, 45Aq$
$[12TuO^3.SiO^2]2ThO, 27Aq$	

II. — FAMILLE CÉRIQUE.

1. — *Groupe du cérium.*

$[12TuO^3.SiO^2]2CeO, 27Aq$	$2[12TuO^3.SiO^2]3CeO H^2O, 36Aq$
$[12TuO^3.SiO^2]2LaO, 27Aq$	$2[12TuO^3.SiO^2]3LaO H^2O, 36Aq$
$[12TuO^3.SiO^2]2PrO, 27Aq$	$2[12TuO^3.SiO^2]3PrO H^2O, 36Aq$

2. — *Groupe du néodidyme.*

$[12TuO^3.SiO^2]2NdO, 26Aq$	$2[12TuO^3.SiO^2]3NdO H^2O, 36Aq$
$[12TuO^3.SiO^2]2NdO, 27Aq$	
$[12TuO^3.SiO^2]2SmO, 26Aq$	$2[12TuO^3.SiO^2]3SmO, 36Aq$
$[12TuO^3.SiO^2]2SmO, 27Aq$	
$[12TuO^3.SiO^2]2GdO, 26Aq$	
$[12TuO^3.SiO^2]2GdO, 27Aq$	$2[12TuO^3.SiO^2]3GdO H^2O, 36Aq$
$[12TuO^3.SiO^2]2GdO, 30Aq$	

III. — FAMILLE YTTRIQUE.

1. — *Groupe de l'yttrium.*

$[12TuO^3.SiO^2]2YO, 26Aq$	$2[12TuO^3.SiO^2]3YO H^2O, 49Aq$
$[12TuO^3.SiO^2]2TuO, 26Aq$	$2[12TuO^3.SiO^2]3TuO H^2O, 49Aq$
$[12TuO^3.SiO^2]2Y6O, 26Aq$	$2[12TuO^3.SiO^2]3Y6O H^2O, 49Aq$

2. — *Groupe de l'erbium.*

$2[12TuO^3.SiO^2]3ErOH^2O, 49Aq$
$2[12TuO^3.SiO^2]3ErOH^2O, 51Aq$

ISOMORPHISME DES TERRES RARES.

Le meilleur argument qu'on puisse donner de l'insuffisance de l'hypothèse ou de la théorie, comme l'on voudra l'appeler, de la trivalence des éléments de la cérite et de la gadolinite, c'est le besoin qu'on éprouve un peu de tous les côtés de la soutenir par des faits nouveaux. Jusqu'ici, en dehors des nécessités du fameux *système périodique* et de quelques faits physiques grossièrement approximatifs, il n'y avait que de vagues raisonnements qu'il était bien difficile de discuter. Dans ces temps derniers des observations nouvelles sont venues apporter une confirmation en apparence décisive de la formule M^2O^3. C'est d'abord M. Göste Bodman (1) qui constate que les nitrates et les sulfates des terres rares cristallisent en toutes proportions avec le nitrate et le sulfate de bismuth. Il est vrai que les deux nitrates et sulfates simples n'ont pas la même hydratation et qu'on est par conséquent obligé d'admettre l'existence de *formes instables*. Cependant cette supposition n'est nullement choquante, car elle rentre dans la catégorie de faits analogues depuis longtemps couramment admis. Mais voici qui est infiniment plus probant : MM. Urbain et Lacombe (2) viennent de montrer qu'il existe un sel double $Bi^2O^3 3N^2O^5, 3MgON^2O^5, 24H^2O$ rigoureusement isomorphe avec les sels bien connus des terres rares et qui,

(1) *B. d. Ch. G.*, t. XXXI, p. 1237.
(2) *Bull. S. Ch.*, (3), t. XXIX, 1903, p. 1154.

dans la notation trivalente, s'écrivent

$$M^2O^3 3N^2O^5, 3MgON^2O^5, 24H^2O.$$

Les cristaux de tous ces sels sont en effet de composition et de formes identiques, et cristallisent ensemble comme je m'en suis assuré. Le débat semblait donc clos et la thèse que Verneuil et moi avons soutenue, définitivement condamnée. Mais cette thèse n'est pas de celles qui succombent au premier choc, et elle vient aujourd'hui prendre sa revanche.

J'avais déjà fait remarquer dans mon Mémoire que les silicotungstates neutres des terres cériques à $27H^2O$ étaient absolument semblables aux hydrates correspondants des sels de calcium et de strontium. L'analogie n'était pas seulement purement géométrique, elle se poursuivait jusque dans les particularités des anomalies optiques. Je n'avais pas poussé plus loin cette étude; j'y reviens aujourd'hui. J'ai fait deux solutions équimoléculaires de sels de didyme et de calcium et j'ai ajouté des quantités progressivement croissantes de sel de calcium dans l'une, de sel de didyme dans l'autre. Les deux sels ont à peu de chose près la même solubilité, car, à 22°, 100 parties d'eau dissolvent 218 parties de sel calcique et 236 parties de sel didymique anhydres; en cristallisant par évaporation, la liqueur et les cristaux ont donc approximativement la même composition. J'ai opéré à des températures variant entre 15° et 35° et obtenu des cristaux de moins en moins colorés, à mesure que diminuait la proportion de didyme. Ces cristaux sont, en général, très gros et très limpides, ce sont des rhomboèdres basés, extrêmement peu biréfringents, *positifs* et d'autant plus biaxes que la température à laquelle ils se sont déposés était plus basse. Voici les analyses des six mélanges obtenus :

1. DiO : CaO = 1 : 0,21. Cristallisé à 35°. A cette température le sel de didyme pur cristallise avec $26 H^2O$, au contact du sel calcique qui ne possède pas cet hydrate il conserve ses $27 H^2O$;
2. DiO : CaO = 1 : 0,38. Cristallisé à 24°;
3. DiO : CaO = 1 : 0,79. — 15°;
4. DiO : CaO = 1 : 1,28. — 20°;
5. DiO : CaO = 1 : 2,25. — 20°;
6. DiO : CaO = 1 : 3. — 20°.

	I.	Trouvé.	
$12 TuO^3 SiO^2$..	80,46	80,42	
DiO...........	5,24	5,24	
CaO..........	0,54	0,57	
H^2O..........	13,76	13,77	(p. d.)
	100,00	100,00	

	II.	Trouvé.	
$12 TuO^3 SiO^2$..	80,74	80,60	
DiO...........	4,58	4,74	
CaO..........	0,89	0,91	
H^2O..........	14,01	13,86	(p.
	100,00	100,00	

	III.	Trouvé.	
$12 TuO^3 SiO^2$..	81,15	81,28	
DiO...........	3,56	3,56	
CaO..........	1,42	1,52	
H^2O..........	13,87	13,64	(p. d.)
	100,00	100,00	

	IV.	Trouvé.	
$12 TuO^3 SiO^2$..	81,46	81,60	
DiO...........	2,81	2,72	
CaO..........	1,81	1,83	
H^2O..........	13,92	13,75	(p.
	100,00	100,00	

	V.	Trouvé.	
$12 TuO^3 SiO^2$..	81,79	81,82	
DiO...........	2,02	2,05	
CaO..........	2,21	2,31	
H^2O..........	13,98	13,82	(p. d.)
	100,00	100,00	

	VI.	Trouvé.	
$12 TuO^3 SiO^2$..	81,96	82,03	
DiO...........	1,60	1,63	
CaO..........	2,43	2,48	
H^2O..........	14,01	13,86	(p.
	100,00	100,00	

On peut objecter sans doute, et j'ai plus d'une fois entendu cette objection, que la molécule de l'acide silicotungstique est tellement lourde qu'elle peut entraîner dans la cristallisation les éléments les plus divers, qu'elle peut provoquer ce qu'on a appelé *l'isomorphisme de masse*. Mais, outre que ce

terme ne signifie absolument rien et n'a été imaginé que pour dissimuler notre profonde ignorance des phénomènes qu'il entend expliquer, on ne voit pas trop comment il pourrait s'appliquer dans le cas dont il s'agit. L'acide silico-tungstique cristallise bien en rhomboèdres aigus de 69°54′, comme les sels des terres cériques à $27H^2O$, mais il est à $24H^2O$, présente un clivage basique et les rhomboèdres sont assez biréfringents et *négatifs*. Ils ressemblent donc, jusqu'à un certain point, aux rhomboèdres de sels à $26H^2O$, mais l'angle de ces derniers est, comme nous l'avons vu, voisin de 79°30′. Il n'y a donc pas là ce qu'on est convenu d'appeler *isomorphisme*, puisqu'il n'y a pas identité de composition. Mais il y a autre chose encore. Il est facile de montrer qu'en se plaçant dans les conditions où les sels de didyme et de calcium ne peuvent plus posséder le même hydrate, ils cristallisent séparément. Il suffit, pour cela, d'ajouter à la solution du mélange de l'acide nitrique et de cristalliser vers 30° *le didyme cristallise d'abord à l'état de sel acide*

$$2[12\,TuO^3.SiO]\,3\,DiO\,H^2O,\,36\,H^2O,$$

sans trace de calcium, et l'on a ensuite le sel double clinorhombique

$$[12\,TuO^3.\,SiO^2]\,2\,CaO,\,N^2O^5\,CaO,\,15\,H^2O,$$

que j'ai décrit et qui ne renferme aucune quantité dosable de didyme. Il n'y a donc pas *entraînement*, il y a cristallisation simultanée régulière, comme dans les cas les plus classiques de corps isomorphes.

Le sel de strontium, lorsqu'il cristallise avec $27H^2O$, est géométriquement isomorphe avec le sel de calcium, dont il ne se distingue que par une biréfringence un peu plus forte et le signe optique *négatif*. Sa solubilité est très voisine de celle du composé de didyme, car 100 parties d'eau à 25° dis-

solvent 200 parties de sel anhydre. Un mélange renfermant 1^{mol} de sel didymique et $0^{mol},80$ de sel de strontium cristallisé à 25° m'a donné des rhomboèdres roses uniaxes *positifs*, en tous points semblables aux rhomboèdres du sel à $27 H^2O$. Ils renfermaient, pour 1^{mol} de DiO, 0,81 de SrO.

		Trouvé.
[$12 TuO^3.SiO^2$]....	80,20	80,33
DiO...............	3,48	3,47
SrO	2,61	2,60
H^2O...............	13,71	13,60 (p. d.)
	100,00	100,00

L'addition d'acide nitrique provoque ici aussi la séparation des deux composants, dont l'un cristallise à l'état de sel acide, et l'autre à l'état d'hydrate inférieur à 23, 17 ou $16 H^2O$, suivant la quantité d'acide nitrique ajoutée et suivant la température de cristallisation.

De ces expériences il résulte très clairement *que les silicotungstates neutres de la famille cérique sont isomorphes dans le sens le plus strict du mot avec l'un des hydrates des silicotungstates de calcium et de strontium.*

Mais il était une autre question intéressante à élucider. J'avais montré que le sel neutre de thorium donnait un hydrate à $27 H^2O$ ayant même forme et mêmes propriétés optiques que les sels neutres des terres cériques, et par conséquent aussi des sels de calcium et de strontium. Tous ces sels pourraient-ils cristalliser ensemble à l'état de mélanges isomorphes? C'est ce que j'ai voulu voir. Lorsqu'on cristallise au-dessous de 15° une solution contenant 1^{mol} de sel de thorium et 3^{mol} de sel calcique, on obtient d'abord des cristaux rhomboédriques *qui ne renferment pas de calcium* et qui appartiennent à un nouvel hydrate à $30 H^2O$ (*a*) que je n'avais pas observé jadis, parce que j'avais toujours cristallisé à 25°-30°.

On obtient ce même hydrate avec le sel de thorium pur évaporé à basse température (*b*).

			a.		*b.*
[$12TuO^3.SiO^2$]...	77,96		77,69		
$2ThO$...........	7,24		7,20		
$8H^2O$...........	3,95	12,80	4,21	15,03	15,01
22 Aq...........	10,85		10,82		
	100,00		99,92		

Rhomboèdres ressemblant beaucoup à ceux de l'acide silicotungstique et des silicotungstates de Li, Ca, Ba à $24H^2O$

Fig. 8.

(*fig.* 5); ils sont, comme ces derniers, assez biréfringents, mais *positifs*, et présentent des anomalies optiques. Les lames se maclent lorsqu'on les taille et l'image axiale varie constamment.

1 : 2.4776.

Angles.	Calculés.	Mesurés.
pa^1($\bar{1}101$ 0001)........		°′ *109.16
pp($\bar{1}101$ $10\bar{1}1$)........	70°.18′	70.14
b^1a^1($01\bar{1}2$ 0001)......	124.58	125
b^1b^1($01\bar{1}2$ $1\bar{1}02$).......	89.36	89.36

Si l'on évapore le même mélange à une température plus élevée, 25°-30°, on obtient des cristaux qui ne possèdent que le rhomboèdre primitif avec une base, *positifs* aussi mais très

faiblement biréfringents. Ils sont à $27 H^2O$ et le rapport $ThO : CaO = 1 : 2.56$.

		Trouvé.
$[12 TuO^3 . SiO^2]$...........	81,62	81,32
ThO.....................	2,12	2,14
CaO.....................	2,38	2,23
H^2O.....................	13,88	14,12
	100,00	99,91

Ici encore il n'y a donc pas *entraînement, isomorphisme de masse*, mais cristallisation simultanée lorsque les deux corps ont même composition et même forme cristalline, et séparation complète sitôt que les conditions de la cristallisation forcent l'un des composants de se transformer en un autre hydrate, possédant une autre forme.

Non moins certaine est la cristallisation simultanée des sels de cérium et de thorium. Le procédé de séparation des deux terres que nous avons donné, Verneuil et moi, permettant de faire des dosages très exacts sur de faibles quantités de matière, j'ai pu analyser un mélange fait à poids à peu près égaux des deux sels et qui m'avait donné, à 30°, de très beaux cristaux rhomboédriques extrêmement peu biréfringents. Ces cristaux à $27 H^2O$ renfermaient $ThO : CeO = 1 : 1.9$.

		Trouvé.
$[12 TuO^3 . SiO^2]$...........	79,80	79,76
ThO.....................	2,56	2,57
CeO.....................	4,00	4,05
H^2O.....................	13,64	13,52
	100,00	99,90

Un autre mélange renfermant beaucoup plus de thorium cristallisé à 10° m'a donné un sel avec $ThO : CeO = 1 : 0.54$, *mais à* $30 H^2O$, et isomorphe avec l'hydrate à $30 H^2O$ de tho-

rium pur, que j'ai décrit plus haut. Cet hydrate paraît être très instable dans les sels de cérium et de didyme purs, car, cristallisés à 0°, ils m'ont donné les hydrates à $27 H^2O$.

		Trouvé.	
$[12 TuO^3.SiO^2]$	78,32	78,15	
ThO	4,72	4,64	
CeO	2,10	2,06	
H^2O	14,86	15,15	(p. d.)
	100,00	100,00	

Si par isomorphisme on entend d'une part l'analogie de composition et de forme, et, d'autre part, la cristallisation simultanée en toutes proportions, les observations précédentes montrent avec une entière évidence, me semble-t-il, que :

1° *La thorine est isomorphe avec les terres cériques ;*

2° *La thorine et les terres cériques sont isomorphes avec les monoxydes du calcium et du strontium.*

Reste la question de l'isomorphisme indiscutable des terres cériques avec l'oxyde de bismuth. Mais l'oxyde de bismuth qui entre dans la composition du nitrate neutre simple ou double est-il réellement un sesquioxyde ? La question peut être posée, car le bismuth est un élément fort peu étudié encore, et dont la chimie présente à bien des égards de très étranges singularités. J'ai pensé que l'acide silicotungstique, qui permet en général de classer facilement les éléments suivant leurs analogies chimiques, me donnerait le moyen d'élucider ce point douteux. Le silicotungstate de bismuth est un sel très difficile à préparer. On sait que l'oxyde bismuthique se polymérise avec une extrême facilité, et qu'au contact de l'eau on a toujours des sels *basiques* insolubles se redissolvant souvent avec peine, même en présence d'un très grand excès d'acide. C'est ce qui arrive avec ce sili-

cotungstate. Lorsqu'on dissout du nitrate neutre de bismuth dans l'acide silicotungstique, il arrive un moment où un précipité insoluble se forme, qu'il faut redissoudre en ajoutant goutte à goutte de l'acide nitrique. Si la quantité d'acide ajouté est trop considérable et si la température à laquelle on cristallise dépasse 35°, l'acide silicotungstique et le nitrate de bismuth se déposent séparément. On voit qu'en tout état de cause, qu'il s'agisse de monoxyde ou de sesquioxyde, on ne peut espérer avoir que les hydrates inférieurs ou des sels acides. Avec quelques tâtonnements on arrive à avoir d'assez gros cristaux, rarement bien formés, dont la forme peut être cependant déterminée avec certitude. Mais on se heurte ici à une autre difficulté que je ne suis pas arrivé à surmonter : la séparation du bismuth de l'acide silicotungstique.

J'ai essayé trois méthodes analytiques différentes :

a. Dissolution dans la moindre quantité d'eau possible, addition de NO^3H en quantité suffisante pour faire une solution limpide, précipitation par le nitrate mercureux, ce qui donne l'acide silicotungstique, évaporation de la liqueur filtrée et calcination du résidu, ce qui donne l'oxyde de bismuth. J'ai déjà fait remarquer dans mon premier Mémoire que le dosage au nitrate mercureux ne peut se faire exactement dans une liqueur renfermant un grand excès de NO^3H, car le sel mercureux se transforme rapidement en sel mercurique très soluble. On trouve donc trop de bismuth et trop peu d'acide silicotungstique.

b. Précipitation de la solution trouble par H^2S, transformation du sulfure de bismuth en nitrate et calcination, ce qui donne l'oxyde. La liqueur filtrée est évaporée et le résidu calciné, ce qui donne l'acide silicotungstique. Ici encore la séparation est incomplète. L'hydrogène sulfuré réduit l'acide silicotungstique, ce qui met en liberté une certaine quantité

de silice précipitée en même temps que le bismuth dont on trouve un excès.

c. Fusion du sel avec du carbonate de soude et reprise par l'eau. La partie insoluble est composée d'un mélange de bismuth métallique et de silicate bismuthique que l'acide nitrique ne décompose que partiellement. On trouve par conséquent derechef la base en excès et l'acide en défaut.

Heureusement que ces incertitudes analytiques, si grandes qu'elles soient, ne laissent aucun doute sur la formule, car c'est la quantité d'eau qui nous intéresse surtout et l'eau se dose par simple calcination avec une très suffisante exactitude. Les trois analyses conduisent à la formule

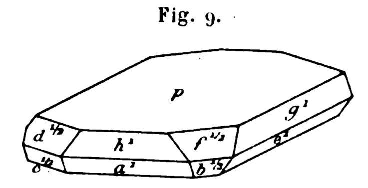
$$3[TuO^3.SiO^2]2Bi^2O^3, 60H^2O,$$

qui est celle de l'hydrate inférieur de tous les sesquioxydes (Ga^2O^3, Al^2O^3, Cr^2O^3, Fe^2O^3).

		a.	*b.*	*c.*
$3[TuO^3.SiO^2]$...	80,95	79,42	80,22	79,99 (p.d.)
$2Bi^2O^3$..........	8,81	10,24	9,22	10,02
$60H^2O$..........	10,24	10,26	10,10	9,99
	100,00	99,92	99,54	100,00

Au moment où j'étudiais ce sel, la température ambiante

Fig. 9.



était assez élevée, et il est possible qu'une température voisine de 0° permettrait d'avoir au moins l'un des hydrates supérieurs surtout avec une solution ne renfermant que la

quantité d'acide nitrique strictement nécessaire pour la maintenir limpide. En effet, en évaporant rapidement une goutte de la solution, on voit se former à côté de cristaux que je vais décrire des cristaux rhomboédriques qui sont caractéristiques de l'hydrate à 87 H^2O de tous les sesquioxydes.

Les cristaux sont tricliniques avec les faces p (001), h^1 (100), g^1 (010), a^1 ($\bar{1}01$), e^1 ($0\bar{1}1$), $f^{\frac{1}{2}}$ (111), $d^{\frac{1}{2}}$ ($1\bar{1}1$), $b^{\frac{1}{2}}$ ($\bar{1}\bar{1}1$), $c^{\frac{1}{2}}$ ($\bar{1}11$). Ils sont assez gros mais à faces peu planes, ils sont toujours aplatis suivant la base. Les faces octaédriques ne se rencontrent généralement pas toutes à la fois.

0,9528 : 1 : 1,2040.

*$h^1 g^1$ (100 010) = 87°,31′; α = 87°,36′.
*$p g^1$ (101 010) = 89,26; β = 90, 9.
*$p h^1$ (001 100) = 106,26; γ = 106,25.

Angles.	Calculés.	Mesurés.
	° ′	° ′
$a^1 g^1$ ($\bar{1}01$ 010)...........	»	*91.52
$a^1 p$ ($\bar{1}01$ 001)............	»	*118. 6
$e^1 p$ ($0\bar{1}1$ 001)............	132.12	»
$e^1 h^1$ ($0\bar{1}1$ 100)............	102.40	102.34
$b^{\frac{1}{2}} p$ (111 001)............	130.11	130.16
$b^{\frac{1}{2}} h^1$ (111 100)............	134.33	134.46
$d^{\frac{1}{2}} p$ ($1\bar{1}1$ 001)............	129.27	»
$d^{\frac{1}{2}} h^1$ ($1\bar{1}1$ 100)............	136.27	136.30
$d^{\frac{1}{2}} b^{\frac{1}{2}}$ ($1\bar{1}1$ 111)............	115.48	115.38
$b^{\frac{1}{2}} p$ ($\bar{1}\bar{1}1$ 001)............	111.50	111.40
$b^{\frac{1}{2}} a^1$ ($\bar{1}\bar{1}1$ $\bar{1}01$)...........	139.2	139.6
$c^{\frac{1}{2}} p$ ($\bar{1}11$ 001)............	110.22	110.26
$c^{\frac{1}{2}} g^1$ ($\bar{1}11$ 010)............	»	131.16
$c^{\frac{1}{2}} b^{\frac{1}{2}}$ ($\bar{1}11$ $\bar{1}\bar{1}1$)............	99.2	»

La forme est, comme l'on voit, très voisine de la symétrie binaire. Les propriétés optiques, autant qu'on peut le constater dans ces cristaux qui sont trop fragiles pour se laisser tailler, sont également celles d'une substance clinorhombique. A travers la base les extinctions se font presque rigoureusement suivant les arêtes ph^1 (**001 100**) et pg^1 (**001 010**).

Ces cristaux ne sont donc pas géométriquement isomorphes avec l'hydrate correspondant des silicotungstates des sesquioxydes que j'ai décrits comme clinorhombiques. Cependant, l'analogie de la forme, la présence des mêmes faces et l'isogonie qui se manifeste sur presque toutes les faces, me firent supposer que mes anciennes déterminations n'étaient pas exactes. Cela paraissait d'autant plus probable que mes anciens cristaux m'avaient donné de très mauvaises mesures et que j'avais dû me contenter de moyennes, c'est-à-dire du plus détestable des procédés en matière de science d'observation, car on cache ainsi les erreurs sans les corriger. Une bonne mesure vaudra toujours cent fois plus que la moyenne de cent mesures que nous savons d'avance être mauvaises. Il est vrai que mes cristaux avaient les propriétés optiques de la symétrie binaire, mais nous venons de voir que le sel de bismuth présentait lui aussi des extinctions caractéristiques d'une substance clinorhombique. Pour élucider ce point intéressant, j'ai recristallisé dans les conditions les plus variées les sels de fer et d'alumine que j'avais conservés et, en mesurant un grand nombre de cristaux, il me fut facile de constater que les angles, d'ailleurs toujours variables, de h^1g^1 (**100 010**) et pg^1 (**001 010**), s'éloignaient constamment plus ou moins de 90°; je ne parvenais en aucun cas à obtenir une coïncidence, même approximative, entre les angles fondamentaux et le calcul. Après un très grand nombre d'essais, j'ai fini par obtenir, d'une solution qui renfermait un léger excès de NO^3H et qui s'était évaporée à 28°, quelques cristaux

très minces qui présentaient des faces assez réfléchissantes, et donnaient des mesures sinon pleinement satisfaisantes, du moins ne laissant aucun doute sur la symétrie. *Les cristaux sont incontestablement tricliniques.* Faces observées : p (001), h^1 (100), g^1 (010), a^1 ($\bar{1}01$), $f^{\frac{1}{2}}$ (111), $d^{\frac{1}{2}}$ ($1\bar{1}1$), $b^{\frac{1}{2}}$ ($\bar{1}\bar{1}1$), $c^{\frac{1}{2}}$ ($\bar{1}11$). Les quatre faces de la pyramide existent presque toujours simultanément; la face a^1 ($\bar{1}01$) est très rare (*fig.* 9).

0,8563 : 1 : 1,0658.

*h^1g^1 (100 010) = 91°.16′; α = 91°.48′.
*pg^1 (001 010) = 88.10 ; β = 87.44.
*ph^1 (001 100) = 105. 8 ; γ = 105.11.

Angles.	Calculés.	Mesurés.
a^1p ($\bar{1}01$ 001).............	119°.20′	119°.20′
$b^{\frac{1}{2}}p$ (111 001).............	128.48	»
$b^{\frac{1}{2}}h^1$ (111 100)............	137.52	137.48
$d^{\frac{1}{2}}p$ ($1\bar{1}1$ 001)............	131.5	131.22
$d^{\frac{1}{2}}h^1$ ($1\bar{1}1$ 100)...........	135.53	135.40
$d^{\frac{1}{2}}b^{\frac{1}{2}}$($1\bar{1}1$ 111)...........	120.55	120.56
$b^{\frac{1}{2}}g^1$ (111 010)...........	119.48	119.44
$b^{\frac{1}{2}}p$ ($\bar{1}\bar{1}1$ 001).............	113.47	113 40
$b^{\frac{1}{2}}h^1$ ($\bar{1}\bar{1}1$ 100)............	124.59	124.52
$c^{\frac{1}{2}}p$ ($\bar{1}11$ 001).............	»	*112.24
$c^{\frac{1}{2}}h^1$ ($\bar{1}11$ $\bar{1}00$)............	»	*124.48
$b^{\frac{1}{2}}c^{\frac{1}{2}}$ ($\bar{1}\bar{1}1$ $\bar{1}11$)............	106.27	106.24

Cette détermination, certainement plus exacte, met en lumière les nombreuses analogies qui existent entre les sels des sesquioxydes et le sel de bismuth, mais ne nous auto-

rise pas à les considérer comme réellement isomorphes. Ils se rapprochent par la symétrie, par la valeur des angles, mais s'en éloignent notablement par la forme et les dimensions du réseau. Il y a là des analogies et des différences semblables à celles que j'ai décrites il y a longtemps [1] pour les bichromates de potassium et de rubidium, tricliniques tous deux, très voisins et cependant incontestablement différents, puisqu'ils passent de l'un à l'autre à une certaine température. Je dois ajouter cependant que, dans le cas des bichromates, les propriétés optiques sont tout autres et qu'elles sont ici semblables pour ne pas dire identiques, ce qui est tout à fait insolite dans les substances qui ne sont pas strictement isomorphes. Nous nous trouvons ici, comme l'on voit, en présence d'un cas fort embarrassant que les théories actuelles ne nous permettent pas de résoudre d'une façon satisfaisante.

En nous maintenant dans les limites précises des faits observés, nous pouvons dire seulement que *le silicotungstate de bismuth ne ressemble ni chimiquement, ni géométriquement, à aucun des silicotungstates des monoxydes; qu'il ressemble, au contraire, par sa composition, et jusqu'à un certain point par sa forme et ses propriétés optiques, aux silicotungstates des sesquioxydes*. L'oxyde de bismuth serait donc, d'après cela, un sesquioxyde, mais un sesquioxyde quelque peu différent des sesquioxydes métalliques. C'est ainsi, du reste, qu'il se comporte par l'ensemble de ses propriétés chimiques.

Mais, si l'oxyde de bismuth est un sesquioxyde et peut être remplacé par les oxydes des terres rares; si, d'autre part, les terres rares peuvent être remplacées par les monoxydes alcalino-terreux, il ne reste plus qu'une conclusion à tirer: *la loi de l'isomorphisme doit être autrement formulée.*

La loi fondamentale de la Chimie, celle qui plane très haut

---

(1) *Bull. Soc. Chim.*, 1894.

au-dessus de toutes les théories et de toutes les hypothèses, est la combinaison en proportions définies; les mélanges isomorphes se faisant en proportions quelconques ne peuvent être que des phénomènes physiques et, dans ce cas spécial, des phénomènes réticulaires. La constitution chimique du corps n'intervient ici qu'indirectement et d'une façon que nous ne connaissons à aucun degré; pour qu'ils puissent cristalliser ensemble, il faut seulement et il suffit que leurs réseaux soient très voisins. La loi de Mitscherlich sort donc du domaine de la Chimie qui ne lui convient nullement, rentre dans le domaine de la Physique moléculaire où elle peut s'interpréter rationnellement, et doit être exprimée ainsi : *Chaque fois que les réseaux sont analogues, ils peuvent se mélanger en toutes proportions, quelle que soit la composition chimique des corps auxquels appartiennent ces réseaux.*

Ce n'est là qu'une première approximation, un énoncé trop général et qui demande à être précisé. Qu'est-ce que l'analogie des réseaux ? Où commence-t-elle? Où finit-elle ? Il y a plus. On sait que les mélanges isomorphes peuvent se faire de deux façons différentes, par simple juxtaposition des réseaux ou bien par déformation de l'un d'eux ou des deux à la fois. M. Wallerant (¹) et M. Herbette (²) en ont cité récemment de remarquables exemples. Il faudra donc distinguer nettement ces deux espèces d'isomorphisme et déterminer exactement les conditions dans lesquelles ils deviennent possibles. On peut dire, en tout cas, qu'en supprimant le point de vue chimique qui ne faisait que compliquer les choses sans apporter aucune clarté, on place ces phénomènes sur le seul terrain qui permette de les étudier utilement.

Ce n'est pas à dire que l'isomorphisme doive rester complè-

(¹) *C. R.*, 1905.
(²) *C. R.*, t. CXL, 1905, p. 1651.

tement étranger à la Chimie. Il a rendu à cette science de nombreux et éclatants services et il fut même un temps où il a été, avec la loi de Dulong et Petit et l'hypothèse d'Avogadro, l'une des trois colonnes qui soutenaient l'édifice de la théorie atomique. Mais il n'intervient dans les considérations chimiques que d'une façon indirecte, par une propriété très spéciale qui ne se rattache, jusqu'à présent du moins, à aucune loi générale : les corps de même composition ont, *en général*, même forme cristalline. Mais, outre que cette règle, purement empirique, admet de très nombreuses exceptions, l'identité de *forme* ne constitue pas encore l'isomorphisme; il faut, de plus, que les *réseaux réels* soient semblables. Le chlorate de potasse, qui est clinorhombique, cristallise en toutes proportions avec le chlorate de soude, parce que sa forme cubique est pseudo-symétrique et que son réseau réel est clinorhombique, comme je l'ai montré jadis. D'autre part, les chlorures de potassium et de sodium, tous deux cubiques, ne cristallisent pas ensemble, parce que leurs réseaux ne sont probablement que quasi-cubiques, l'un étant, par exemple, ternaire, et l'autre quaternaire. M. Wallerant (¹) a montré, en effet, dernièrement, que pour une même substance (nitrate de calcium), il pouvait exister deux formes cubiques, stables à des températures très différentes et, par conséquent, différant géométriquement.

La valeur théorique de cette règle diminue encore si l'on remarque que sa réciproque n'est nullement vraie. Des corps chimiquement dissemblables n'ont pas nécessairement des formes incompatibles, ils peuvent avoir des réseaux aussi voisins que possible, et l'on ne voit pas pourquoi ils ne cristalliseraient pas ensemble en toute proportion. J'ai eu l'occasion, dans le courant de mes recherches cristallographiques, de

---

(¹) *C. R.*, t CXXVII, 1903, p. 805.

citer quelques cas de ce genre, et, notamment, la cristallisation simultanée de l'acide silicotungstique et du silicotungstate neutre de lithine ([1]), qui avaient des réseaux presque identiques. Je reconnais cependant que cet exemple n'était pas fait pour entraîner la conviction. On pouvait objecter qu'avec le poids énorme de la molécule de l'acide silicotungstique, la quantité de lithine engagée dans la combinaison devenait négligeable, qu'il y avait là simple *entraînement*; on pouvait objecter aussi, avec infiniment plus de raison, que le seul mélange que j'aie analysé correspondait assez bien à un sel acide $3[12\,TuO^3, SiO^2]\,4\,Li^2O, 2\,H^2O, 70\,H^2O$, quoiqu'un semblable sel ne se rencontre ni parmi les sels alcalins ni parmi les sels alcalino-terreux.

Les faits que j'apporte aujourd'hui répondent à ces objections et ne laissent aucun doute sur la possibilité d'un isomorphisme aussi complet que possible entre oxydes de valence différente.

Cette constatation ne doit certes pas empêcher de faire intervenir les considérations tirées de l'isomorphisme dans l'établissement d'une formule chimique. Comme toutes les propriétés physiques, comme la densité, la solubilité, le point de fusion, la chaleur spécifique, la forme que revêtent les combinaisons peut être une indication précieuse, mais elle ne saurait être décisive. La connaissance de ses fonctions peut seule nous permettre de fixer d'une façon certaine et définitive la constitution d'un corps.

([1]) *Bull. Soc. Minér.*, t. XIX, 1896, p. 219.

Sur un nouveau gisement uranifère français;

Par M. E. Boubée.

J'ai récemment découvert et exploré un nouveau gisement uranifère français, situé aux environs d'Ambert (Puy-de-Dôme). La découverte en a été déterminée par l'envoi que me firent mes correspondants régionaux, MM. Journet et Bravard, d'échantillons de quartz ferrugineux à la surface desquels je reconnus la présence de sels d'urane (chalkolite et uranite); cette particularité m'engagea à aller étudier le gisement sur place.

Ce gisement, distinct de celui qui a été signalé il y a une quarantaine d'années à Charbonnières-les-Varennes, à 14^{km} de Riom, dans la même région, consiste en un filon ouvert de 6^{m} à 8^{m} de puissance, qui se prolonge du sud au nord sur une longueur d'au moins 1^{km}. Ce filon ferrugineux se présente sous trois aspects bien caractérisés : 1° au sommet : quartz et améthyste cristallisés et massifs zonés ; 2° au centre : une pegmatite en état de complète altération, savonneuse au toucher, et qui, en séchant, s'agglutine en petits grains durs et rappelle la gangue de l'autunite d'Autun ; 3° à la base : quartz ferrugineux très altéré, se détachant en feuillets sous le choc du marteau. C'est dans les fissures très nombreuses de cette dernière roche que se trouvent de très beaux cristaux de chalkodite et d'uranite, comparables à ceux des meilleurs échantillons de Saxe, de Cornouailles, d'Espagne et d'Autun, ainsi que de l'uranocre en enduits.

La richesse minérale du filon s'accroît en profondeur d'une façon très sensible. Les échantillons extraits à 4^{m} de profondeur constituent un minerai d'une richesse au moins triple de celle des roches d'affleurement.

La carrière présente aussi un filon de mispickel cristallisé par endroits et accompagné de blende dans une gangue de protogine altérée.

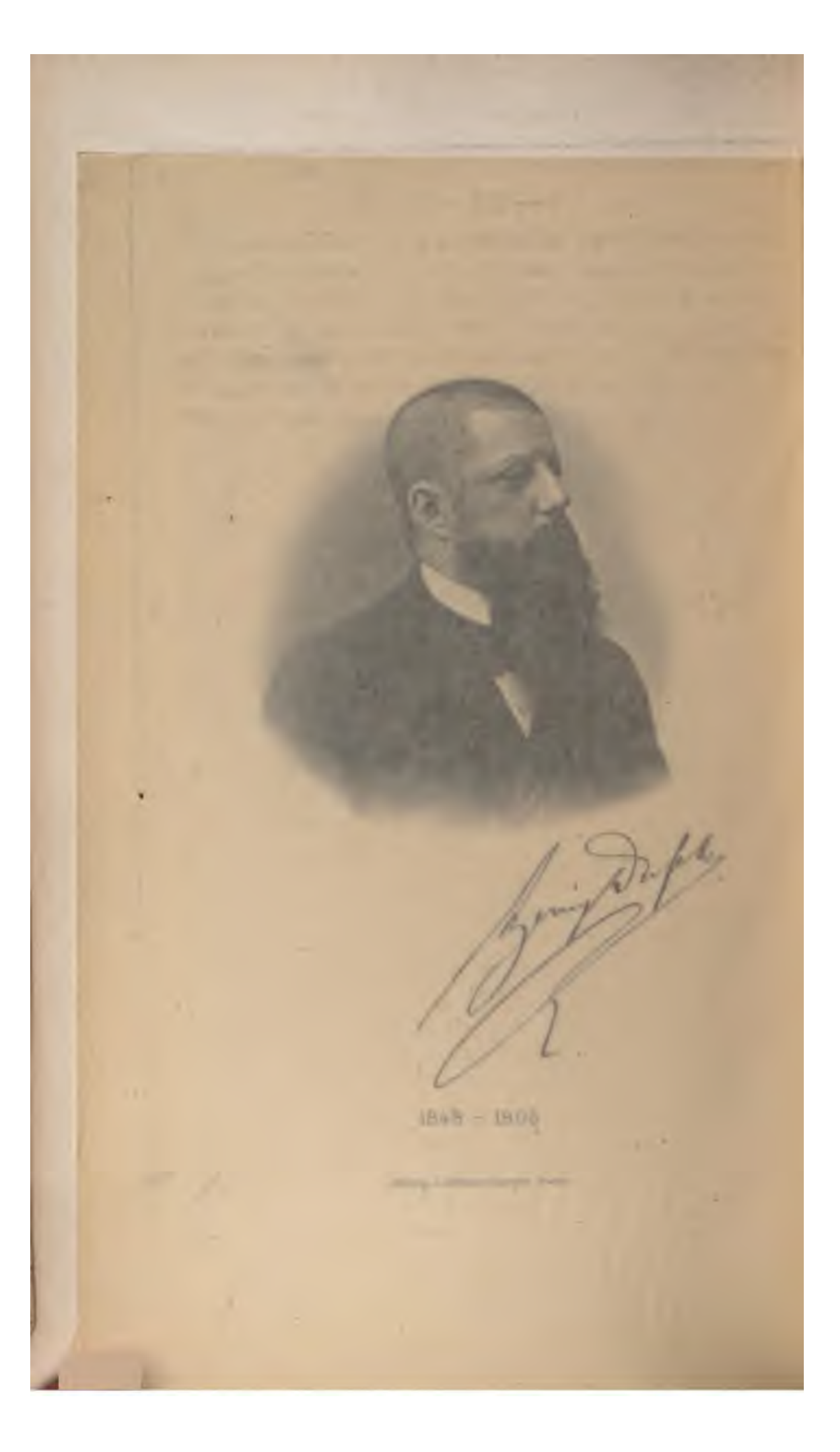
Le Secrétaire gérant :

MAURICE BLONDEL.

36297 Paris. — Imprimerie GAUTHIER-VILLARS, 55, quai des Grands-Augustins.

1848 – 1905

Héliog. L. Schutzenberger, Paris



1848 – 1905

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE.

Année 1905. — Bulletin n° 6.

Compte rendu de la Séance du 8 juin 1905.

Présidence de M. Fréd. Wallerant.

M. de Gramont présente quelques clichés de spectres photographiés d'étincelle directe des minéraux, spécialement d'une série de galènes où la grosseur variable des raies capitales de l'argent permet de suivre la variation de teneur de ce métal. On y voit en outre les groupes de lignes du soufre, qui se montrent aussi sur les clichés de l'argyrose, où les raies capitales du zinc, du cuivre et du calcium sont aussi visibles. Ces photographies ont été obtenues avec un spectrographe à prisme en spath calcite et avec des objectifs en quartz; elles seront publiées ultérieurement dans un Mémoire destiné au Bulletin de la Société.

M. Jean Herbette fait une communication sur l'isomorphisme des tartrates de thallium et de potassium. Il a obtenu une nouvelle forme du tartrate de thallium, orthorhombique,

mais très voisine du tartrate de potassium qui est clinorhombique; il a préparé 17 mélanges, en proportions différentes, des deux sels; les propriétés cristallographiques et optiques de ces mélanges varient graduellement avec leur composition chimique, sans toutefois se maintenir toujours, comme entre deux limites, entre les propriétés des deux tartrates purs de thallium et de potassium [1].

Notice sur Henry Dufet;

Par M. G. Wyrouboff.

La Société de Minéralogie vient de faire une nouvelle et cruelle perte. Un de ses membres les plus assidus et les plus actifs, Henry Dufet, est mort le 10 avril 1905 à l'age de 57 ans. Quoique sa santé ébranlée depuis longtemps donnât depuis 2 ou 3 ans de grandes inquiétudes à ses amis, il était permis d'espérer que sa robuste constitution triompherait pendant plusieurs années encore du mal, hélas! incurable, dont il était atteint. Il est mort sur la brèche, luttant jusqu'au bout contre la souffrance, travaillant jusqu'à la dernière heure avec cette passion et cette ténacité qu'il mettait dans tout ce qu'il faisait.

Il a fallu, en effet, un rare amour de la Science et une inlassable persévérance pour conduire à bien une œuvre considérable dans les circonstances difficiles au milieu desquelles s'est écoulée sa trop courte existence.

Professeur au Lycée Saint-Louis en même temps que maître de conférences à l'École Normale supérieure, il ne lui restait

---

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, juin 1904.

guère que deux jours par semaine pour ses travaux personnels, qu'il était obligé d'interrompre périodiquement. C'est dans ces conditions tout à fait anormales pour un savant qu'il a fait cette longue suite de remarquables Mémoires dont je donne plus loin la liste.

Dufet appartenait tout entier à cette nouvelle école cristallographique fondée sous l'inspiration de Mallard sur les ruines de l'ancienne école purement géométrique, et qui cherchait non plus la description des formes, mais les relations entre ces formes et la structure telle qu'elle nous est révélée par les phénomènes physiques qui en dépendent. La première question qu'il aborda fut celle de l'isomorphisme, alors à l'ordre du jour, question capitale et qui, dans son ensemble, n'est pas encore résolue. Quelle est la fonction qui relie les propriétés du mélange aux propriétés des corps mélangés? problème qui s'était posé depuis longtemps, mais que, faute de données expérimentales, on n'avait même pas essayé de résoudre. Mallard avait bien tenté une solution purement théorique et donné une formule qui paraissait concorder assez bien avec les quelques faits qu'on connaissait alors, mais cette vérification était manifestement insuffisante et des données plus précises étaient nécessaires. Dans un travail qui faisait le plus grand honneur au jeune savant, Dufet montra que la fonction était linéaire, et donna une formule expérimentale différente de celle de Mallard et qui exprime d'une façon très simple la loi du phénomène. Mallard y arriva deux ans plus tard en partant de sa théorie des lames minces, et M. Lavenir la confirma définitivement.

Aujourd'hui que la loi des mélanges isomorphes ne fait plus de doute pour personne, elle nous paraît toute naturelle; mais, comme toutes les choses simples, il a fallu une remarquable habileté expérimentale et une rare sagacité pour la trouver. Ces deux qualités si nécessaires au savant, Dufet

les possédait à un haut degré. Tout ce qui sortait de son laboratoire portait le cachet de la précision de bon aloi dans laquelle les décimales expriment non les produits d'un calcul, mais le résultat de l'observation, et rien n'y était oublié de ce qui pouvait éclairer une question difficile. Il revint plus tard sur la question de l'isomorphisme, lorsqu'il fut nommé à l'École Normale et qu'un outillage expérimental plus complet lui permit de pousser plus loin encore l'exactitude des mesures; il y revint encore indirectement en inspirant et dirigeant le très intéressant travail de son élève M. Lavenir sur le mélange des deux sels de Seignette. Géométriquement et optiquement, la loi linéaire se trouva vérifiée.

On rencontre un autre exemple de cette rare association de la précision poussée jusqu'à ses dernières limites et de l'esprit critique qui sait en tirer profit, dans un travail de comparaison entre les deux procédés de détermination des indices de réfraction : la réfraction prismatique et la réflexion totale, l'une exigeant l'intervention de la masse entière de la substance, l'autre ne se servant que de sa couche superficielle ou intrasuperficielle. Il y montre que les deux procédés conduisent au même résultat à moins d'une unité de la cinquième décimale, chaque fois qu'il s'agit de cristaux durs ou de lames de clivage de cristaux tendres, mais que la différence devenait relativement considérable, de plus de deux unités du quatrième ordre, lorsque les substances tendres (sel gemme, sylvine, gypse, alun) étaient soumises au polissage. Il en conclut avec raison que les cristaux de cet ordre subissaient une déformation permanente dépassant plus ou moins la couche superficielle.

Je ne citerai que pour mémoire ses nombreuses *Notices cristallographiques* qui ont toutes paru dans notre *Bulletin* et qui renferment la description complète d'une centaine de corps nouveaux dont quelques-uns extrêmement intéressants

soit au point de vue de leur forme géométrique, soit au point de vue de leurs propriétés optiques. Tels sont l'acide phosphomolybdique et le phosphomolybdate sodique, fort différents par l'hydratation et pourtant isomorphes; les phosphites de potassium et d'ammonium, identiques par la composition et fort différents de forme; l'arséniate sodico-strontique, présentant la tétartoédrie du chlorate de soude et ne possédant pas de pouvoir rotatoire; enfin le phénylhydrazone du pyruvate éthylique, le plus biréfringent de tous les corps biaxes connus.

Son œuvre capitale, celle qui lui assure et lui assurera pendant longtemps la reconnaissance des physiciens et des cristallographes, est le *Recueil des constantes optiques,* auquel il a travaillé sans relâche pendant plus de 7 ans. La Société de Physique avait décidé de publier un vaste Ouvrage sur les constantes physiques et nommé une Commission qui partagea la besogne entre ses membres; seul, Dufet, le plus occupé de tous, exécuta la tâche qui lui incombait. Il suffit de parcourir les trois gros volumes dont le Recueil se compose pour comprendre quelle prodigieuse somme de travail a été nécessaire pour conduire à bien cette entreprise. Non seulement toutes les sources disséminées dans les publications scientifiques de tous les pays ont été consultées, mais les données fondamentales ont été recalculées, souvent corrigées, toujours appréciées au point de vue de la confiance qu'elles méritent. Pour quelques-unes des plus importantes, comme les indices de la calcite et du quartz, de nouvelles mesures de haute précision ont été faites. On demeure vraiment confondu devant cet effort, auquel Dufet ne pouvait consacrer que le peu de temps que lui laissaient ses occupations professionnelles et qui ne l'absorbait cependant pas tout entier, car pendant ces 7 années il n'a cessé de publier, dans notre *Bulletin*, d'importants Mémoires. L'œuvre à

peine terminée en 1900, il se remit au travail avec plus d'ardeur que jamais et nous communiqua ses recherches sur les sulfates des terres rares, qui avaient été un des joyaux de la Section chimique à l'Exposition universelle. Il y décrit deux phénomènes optiques nouveaux et jusqu'ici difficilement explicables : la variation brusque des indices dans l'intérieur des bandes d'absorption et la dispersion anomale des axes d'élasticité optique. Ces observations, d'une extrême délicatesse, montrent à quel degré de virtuosité Dufet était arrivé en matière de recherches cristallographiques. Il est vrai qu'il avait pour cela un instrument très ingénieux et permettant d'exécuter les mesures optiques les plus variées et les plus précises, mais cet instrument était aussi son œuvre; il en avait imaginé tous les dispositifs et en avait surveillé la construction.

Non moins intéressant et plus fécond en conséquences théoriques est son Mémoire sur la polarisation rotatoire des corps biaxes, le dernier qu'il ait publié et auquel il se proposait de donner une suite au moment où la mort est venue le surprendre. On sait qu'on n'avait jamais pu constater le pouvoir rotatoire dans les cristaux biaxes et qu'on en était arrivé à le considérer comme impossible. Pourtant, en 1901, M. Pocklington montra qu'on pouvait, moyennant certains artifices, l'observer facilement dans le sucre de canne clinorhombique et le sel de Seignette orthorhombique, mais cette observation, qui étonna tout le monde et à laquelle personne ne crut sérieusement, n'eut même pas les honneurs de la critique, et, seuls, les mathématiciens purs essayèrent de l'interpréter. Elle frappa beaucoup Dufet, toujours à l'affût de tout ce qui touchait à la structure cristalline, et il s'empressa de la soumettre à une vérification expérimentale précise. Il perfectionna la méthode d'observation de façon à permettre l'examen de lames épaisses, même dans les corps relativement très biré-

fringents, et ne tarda pas à reconnaître que les observations de Pocklington étaient parfaitement exactes, que ces phénomènes s'observaient dans d'autres corps hémièdres, comme l'acide tartrique ou le rhamnose. Il fit plus, et c'est en cela surtout que réside l'originalité de son travail, il montra que les mêmes phénomènes s'observaient dans les corps hémièdres dont la solution était parfaitement inactive, tels que le sulfate de magnésie à $7H^2O$ et le phosphate sodico-strontique. Il résulte de ces recherches deux conséquences importantes : le pouvoir rotatoire dans les cristaux ne dépend en aucune façon de ce qu'on appelle *la structure de la molécule chimique,* qui n'est que le résultat d'une certaine dissymétrie du *milieu cristallin,* car le formiate de strontiane, hémiédrique comme le sulfate de magnésie, ne dévie nullement le plan du rayon polarisé; d'autre part, ce pouvoir, contrairement à l'opinion admise, est une propriété vectorielle du milieu comme toutes les autres propriétés physiques, puisqu'il peut être pour les deux axes optiques non seulement différent, mais de signe contraire. Ces résultats inattendus soulèvent tout une série de problèmes de physique moléculaire dont il nous est difficile d'entrevoir la solution. La théorie si ingénieuse et en apparence si satisfaisante de Mallard est-elle inexacte ou n'est-elle qu'un cas particulier d'une théorie plus générale fondée sur une autre conception que celle d'un croisement de réseaux autour d'un axe de pseudo-symétrie? N'y a-t-il pas là deux ordres de phénomènes distincts, dépendant des deux éléments qui constituent un réseau cristallisé : le réseau et les particules qui occupent le nœud de ce réseau? Dufet s'était arrêté devant ces points d'interrogation dont il avait compris tout de suite l'importance et il se proposait d'en chercher la solution. Nul n'était mieux outillé que lui pour entreprendre une pareille recherche. Analyste habile, observateur de premier ordre, il était doué de cet esprit scienti-

fique qui sait se tenir à égale distance des exagérations du calcul et de l'expérience.

Il me reste à dire quelques mots de l'une de ses dernières publications, qu'il avait gardée longtemps en manuscrit dans ses cartons. Nous avions causé souvent des avantages et des défauts des divers procédés de calcul cristallographique et il m'avait plus d'une fois parlé d'une méthode nouvelle qu'il avait imaginée et dont il se servait toujours. C'est sur mes instances qu'il se décida à l'exposer d'une façon dogmatique en l'appuyant de nombreux exemples pris dans les divers systèmes cristallins. Cette méthode est éclectique; elle est une combinaison très ingénieuse des formules de la Géométrie analytique dont se servaient les anciens cristallographes de l'école de Weiss et de Naumann et des procédés trigonométriques tels que les employait Miller dans son célèbre Traité. Est-elle plus simple, plus rapide, plus facile surtout pour les débutants? C'est l'expérience seule qui pourra le décider; ce qu'on peut dire avec certitude, c'est qu'elle est très élégante et permet, dans certains cas, d'opérer directement des calculs qui, dans les procédés habituels, ne peuvent se faire que par des voies indirectes, parfois fort longues.

On voit par ce court résumé combien nombreux et importants sont les titres scientifiques de Dufet. Malheureusement, ce long et opiniâtre labeur n'a pas profité à sa carrière, car dans notre organisation sociale les places et les honneurs récompensent non les travaux, mais les démarches et les sollicitations, et Dufet n'aimait ni les unes ni les autres, estimant que le temps d'un savant consciencieux devait appartenir tout entier à la Science. Rare exemple de désintéressement, que les jeunes feront bien de méditer et de suivre.

Liste des travaux de M. H. Dufet.

1875. — Note sur les déformations des fossiles contenus dans les roches schisteuses et sur la détermination de quelques espèces du genre Ogygia. (*Ann. sc. de l'Éc. Normale sup.*, 2e série, t. IV, p. 183.)

Sur la conductibilité électrique de la pyrite. (*Comptes rendus*, t. LXXXI, p. 628.)

1878. — Sur la variation des indices de réfraction dans des mélanges de sels isomorphes. (*Comptes rendus*, t. LXXXVI, p. 881; *Bull. de la Soc. fr. de Minér.*, t. I, p. 58; *Journ. de Phys. th. et appl.*, 1re série, t. VII, p. 325.)

1879. — Sur l'isomorphisme (Remarques à propos d'une communication de M. Wyrouboff). (*Bull. de la Soc. fr. de Minér.*, t. II, p. 140.)

1880. — Sur les propriétés optiques des mélanges des sels isomorphes. (*Comptes rendus*, t. XCI, p. 286; développé dans le *Bull. de la Soc. fr. de Minér.*, t. III, p. 180.)

1881. — Influence de la température sur la double réfraction du gypse. (*Bull. de la Soc. fr. de Minér.*, t. IV, p. 113.)

Influence de la température sur les indices principaux du gypse. (*Bull. de la Soc. fr. de Minér.*, t. IV, p. 191.) (Les deux mémoires réunis dans *Journ. de Phys. th. et appl.*, 1re série, t. X, p. 513.)

1882. — Sur la théorie du saccharimètre Laurent à lumière blanche (*Journ. de Phys. th. et appl.*, 2e série, t. I, p. 552.)

1883. — Sur la variation des indices de réfraction de l'eau et du quartz sous l'influence de la température. (*Comptes*

rendus, t. XCVI, p. 1221, et *Bull. de la Soc. fr. de Minér.*, t. VI, p. 75.)

1884. — Influence de la température sur les indices de réfraction du quartz. (*Comptes rendus*, t. XCVIII, p. 126; *Bull. de la Soc. fr. de Minér.*, t. VII, p. 183.)

Remarques sur les propriétés optiques des mélanges de sels isomorphes. (*Comptes rendus*, t. XCIX, p. 990.)

1885. — Recherches expérimentales sur la variation des indices de réfraction sous l'influence de la chaleur. (*Bull. de la Soc. fr. de Minér.*, t. VIII, p. 174-314; Résumé dans *Journ. de Phys. th. et appl.*, 2e série, t. IV, p. 389.)

Sur la loi de Gladstone et la variation d'indice moléculaire. (*Journ. de Phys. th. et appl.*, 2e série, t. IV, p. 477-506 et 535-540; Résumé dans *Bull. de la Soc. fr. de Minér.*, t. VIII, p. 406.)

1886. — Étude cristallographique et optique de l'orthophosphate diargentique. (*Bull. de la Soc. fr. de Minér.*, t. IX, p. 36.)

Sur la forme cristalline des pyrophosphates et hypophosphates de soude. (*Comptes rendus*, t. CII, p. 1327, et *Bull. de la Soc. fr. de Minér.*, t. IX, p. 201.)

Sur l'orthophosphate et l'arséniate monosodiques. (En collaboration avec M. Joly.) (*Comptes rendus*, t. CII, p. 1391, et *Bull. de la Soc. fr. de Minér.*, t. IX, p. 194.)

Sur les phosphates et arséniates d'argent. (*Bull. de la Soc. fr. de Minér.*, t. IX, p. 278.)

Sur un nouveau microscope polarisant. (*Bull. de la Soc. fr. de Minér.*, t. IX, p. 275, et *Journ. de Phys. th. et appl.*, 2e série, t. V, p. 564.)

1887. — Étude cristallographique et optique des phosphates, arséniates et hypophosphates de soude. (*Bull. de la Soc. fr.*

de Minér., t. X, p. 77; Résumé dans *Journ. de Phys. th. et appl.*, 2ᵉ série, t. VI, p. 30.)

Étude expérimentale sur la dispersion des axes d'élasticité optique dans quelques cristaux clinorhombiques (*Bull. de la Soc. fr. de Minér.*, t. X, p. 214.)

1888. — Constantes optiques du gypse de Montmartre. (*Bull. de la Soc. fr. de Minér.*, t. XI, p. 123, et *Journ. de Phys. th. et appl.*, 2ᵉ série, t. VII, p. 292.)

Notices cristallographiques (1ʳᵉ série) : Arséniate sodicostrontique. Bioxyde de ruthénium. Hypophosphate dithalleux. Azotate lanthano-ammonique. Orthophosphate monobarytique. (*Bull. de la Soc. fr. de Minér.*, t. XI, p. 143.)

Reproduction de la pharmacolite. Étude cristallographique et optique. (*Comptes rendus*, t. CVI, p. 1238, et *Bull. de la Soc. fr. de Minér.*, t. XI, p. 187.)

Notices cristallographiques (2ᵉ série) : Chlorure de sodium et de potassium. Ruthéniate de potassium. Heptaruthéniate de potassium. Sulfate de cuivre et de nickel. Sulfate de cuivre et de cobalt. (*Bull. de la Soc. fr. de Minér.*, t. XI, p. 215.)

1889. — Sur la variation de forme cristalline dans des mélanges isomorphes. Sulfate de zinc et de magnésie. (*Bull. de de la Soc. fr. de Minér.*, t. XII, p. 22.)

Notices cristallographiques (3ᵉ série) : Oxalate de rhodium et potassium. Chlorure de ruthénium nitrosé. Chlorure de ruthénammonium nitrosé. Iodure de ruthénammonium nitrosé. Sulfate de ruthénammonium nitrosé. Azotate de ruthénammonium nitrosé. Azotite de ruthénium et potassium. Acide oxalomolybdique. Phosphate acide de sodium. (*Bull. de la Soc. fr. de Minér.*, t. XII, p. 466.)

1890. — Notices cristallographiques (4ᵉ série) : Phosphate disodique. Acide phosphohexamétatungstique. Acide phos-

phopentamétatungstique. Acide phosphotrimétatungstique. Phosphotrimétatungstate de sodium. Phosphotrimétatungstate de cuivre. Phosphotrimétatungstate de baryum. Phosphotrimétatungstate de calcium. Phosphotrimétatungstate de magnésium. Chloro-iridate de sodium. Sesquichlorure d'iridium et ammonium. Sesquichlorure d'iridium et ammonium. Ferrocyanure de lithium et potassium. (*Bull. de la Soc. fr. de Minér.*, t. XIII, p. 199.)

Mesures comparatives de l'indice de différents quartz. (*Bull. de la Soc. fr. de Minér.*, t. XIII, p. 271.)

Sur la détermination de l'orientation optique et de la dispersion des axes dans les cristaux tricliniques. Application au bichromate de potasse. (*Bull. de la Soc. fr. de Minér.*, t. XIII, p. 341, et *Journ. de Phys. th. et appl.*, 2e série, t. X, p. 171.)

1891. — Mesures comparatives d'indices par le prisme et la réflexion totale (*Bull. de la Soc. fr. de Minér*, t. XIV, p. 130, et *Journ. de Phys. th. et appl.*, 3e série, t. I, p. 163.)

Notices cristallographiques (5e série) : Chlorure de ruthénium nitrosé et potassium. Iodure de ruthénium nitrosé et potassium. Chlorure de ruthénium nitrosé et sodium. Phosphite acide de potassium. Phosphite acide d'ammonium. Hydrate de chloral. Chlorhydrate de chlorure de ruthénammonium nitrosé. Osmiamate de potassium. Permolybdate d'ammonium. Hypophosphate dipotassique à $2H^2O$. Hypophosphate dipotassique à $3H^2O$. (*Bull. de la Soc. fr. de Minér.*, t. XIV, p. 206.)

Notices cristallographiques (6e série) : Palladiodichloronitrite de potassium. Platodichloronitrite de potassium. Platodibromonitrite de potassium. Platodiiodonitrite de potassium. Platidichloronitrite de potassium. Platidibromonitrite de potassium. Platitribromonitrite de potassium.

Platitétraiodonitrite de potassium. Azotite de ruthénium nitrosé et sodium. (*Bull. de la Soc. fr. de Minér.*, t. XV, p. 206.)

1893. — Sur les indices de réfraction du spath d'Islande. (*Bull. de la Soc. fr. de Minér.*, t. XVI, p. 149.)

1895. — Sur le ferrocyanure, le ruthénocyanure et l'osmocyanure de potassium. (*Bull. de la Soc. fr. de Minér.*, t. XVIII, p. 95.)

Notices cristallographiques (7e série) : Indophénol du carvacrol. Indophénol du *m*-crésylol. Indophénol du *p*-xylénol. Indophénol du thymol. Osmiate d'ammonium. Chlorure jaune du palladammonium. Palladionitrite de potassium hydraté. Oxalotitanate de potassium. Éther éthylique d'un acide cétonique dérivé de l'anhydride camphorique. (*Bull. de la Soc. fr. de Minér.*, t. XVIII, p. 414.)

1898. — Sur les propriétés optiques du calomel. (*Bull. de la Soc. fr. de Minér.*, t. XXI, p. 89.)

1900. — Sur une espèce minérale nouvelle, la céruléite. (*Bull. de la Soc. fr. de Minér.*, t. XXIII, p. 147.)

Recueil de données numériques publié par la Société française de Physique : *Optique*. (Gauthier-Villars, 1898-1900.) 3 volumes.

1901. — Notices cristallographiques (8e série) : Fluosilicate de fer. Diphosphopentamolybdate de sodium. Ferrocyanure de calcium. Chromicyanure de potassium. Rhodicyanure de potassium. α-phénylhydrazone du pyruvate éthylique. Phénylhydrazone du pyruvate éthylique. (*Bull. de la Soc. fr. de Minér.*, t. XXIV, p. 118.)

Étude cristallographique et optique des sulfates de néodyme, de praséodyme et de samarium. (*Bull. de la Soc. fr. de Minér.*, t. XXIV, p. 373.)

1902. — Notices cristallographiques (9e série) : Hydrate de

pyridinebétaïne. Chlorhydrate neutre de pyridinebétaïne. Chlorhydrate basique de pyridinebétaïne. Bromhydrate basique de pyridinebétaïne. Amidonaphtylsulfonate de sodium (Naphtonate de soude). Erythrite dichlorhydrique. (*Bull. de la Soc. fr. de Minér.*, t. XXV, p. 38.)

Notices cristallographiques (10[e] série) : Platonitrite de potassium hydraté. Platooxalate de potassium. Platooxalonitrite de potassium. Platooxalonitrite de baryum. Platooxalonitrite barytopotassique. Pallododibromonitrite de potassium. Iridochloroxalate de potassium. Iridochloroxalonitrite de potassium. Nitrilopentachlorosmiate de potassium. Acide méthylarsinique. (*Bull. de la Soc. fr. de Minér.*, t. XXV, p. 125.)

1903. — Notices cristallographiques (11[e] série) : Osmyloxalate de potassium. Osmyloxalate d'ammonium. Osmyloxalate de sodium. Osmyloxalate de baryum. Osmylchlorure de potassium. Osmylchlorure de potassium hydraté. Osmylbromure de potassium hydraté. Osmyloxynitrite de potassium. Chlorosmiate de méthylammonium. Chlorosmiate d'éthylammonium. Chlorosmiate nitrosé de potassium. Platooxalonitrite argentopotassique. Platooxalonitrite de sodium. (*Bull. de la Soc. fr. de Minér.*, t. XXVI, p. 30.)

Description d'un cristal d'oligiste. (*Bull. de la Soc. fr. de Minér.*, t. XXVI, p. 60.)

Forme cristalline et propriétés optiques du bromure de baryum. (*Bull. de la Soc. fr. de Minér.*, t. XXVI, p. 65.)

Sur le calcul cristallographique (nouvelle méthode). (*Bull. de la Soc. fr. de Minér.*, t. XXVI, p. 190.)

1904. — Étude cristallographique et optique du rhamnose. (*Bull. de la Soc. fr. de Minér.*, t. XXVII, p. 146.)

Recherches expérimentales sur l'existence de la polarisation rotatoire dans les cristaux biaxes. (*Bull. de la Soc. fr. de Minér.*, t. XXVII, p. 156.)

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE.

ANNÉE 1905. — BULLETIN N° 7.

Compte rendu de la séance du 9 novembre 1905.

PRÉSIDENCE DE M. FRÉD. WALLERANT.

M. LE PRÉSIDENT annonce une présentation.

M. GAUBERT fait une communication sur la coloration artificielle des cristaux d'acide phtalique. Le but de ce travail est surtout de montrer l'influence de l'absorption des matières étrangères par le cristal, sur le développement relatif des diverses faces cristallines.

M. WALLERANT analyse les Ouvrages de MM. O. LEHMANN et R. SCHENCK sur les corps cristallisés mous ou liquides.

Les corps cristallisés mous ou liquides;

D'après MM. O. Lehmann et R. Schenck.

Par M. F. Wallerant.

Le premier exemple de cristal mou a été signalé par M. Lehmann en 1877 : il a montré à cette époque que l'iodure d'argent, qui à la température de 146° devient assez mou pour avoir été considéré pendant longtemps comme un liquide visqueux, est en réalité cristallisé, le plus souvent en octaèdres. Mais ces cristaux mous présentant de véritables formes cristallines, la remarque de M. Lehmann, malgré son importance, passa complètement inaperçue, et il fallut la découverte d'un liquide biréfringent, faite en 1888, par M. Reinitzer, pour attirer l'attention des cristallographes et des physiciens. Ce savant constata en effet que le benzoate de cholestérine donnait naissance, à la température de 145°,5, à un liquide très biréfringent, qui, à la température de 178°,5, devenait isotrope. Depuis on a découvert d'autres corps jouissant des mêmes propriétés, et leur étude a donné lieu à de nombreux travaux. Les résultats des recherches viennent d'être longuement exposés dans deux ouvrages remarquables, publiés par les savants qui se sont le plus occupés de la question, MM. Lehmann et Schenck (¹). Le premier s'est surtout placé au point de vue cristallographique : il a fait une étude microscopique détaillée de ces liquides si curieux, et en a tiré de nombreuses conclusions intéressant aussi bien les cristaux solides que les liquides. M. Schenck, au contraire, s'est adonné à la dé-

(¹) O. Lehmann, *Flüssige kristalle*; R. Schenck, *Kristallinische Flüssigkeiten und Flüssige Kristalle.*

termination des constantes physiques, de sorte que les deux Ouvrages se complètent de la façon la plus heûreuse.

Je pense qu'il sera agréable aux lecteurs de ce Bulletin de trouver un résumé de ces travaux si importants, résumé qui me permettra d'ailleurs de tirer des faits décrits des conclusions capitales sur la structure des corps cristallisés.

Un premier point, qui appelle l'attention des deux auteurs, est de savoir s'il y a incompatibilité entre l'état cristallisé et l'état liquide, et ils font remarquer qu'il existe un assez grand nombre de corps, dont l'état cristallisé ne fait doute pour personne et qui sont mous; on peut citer la paraffine, le camphre et beaucoup d'autres corps organiques. Parmi les composés inorganiques on peut encore indiquer l'azotate d'ammoniaque : si l'on prend une lamelle de ce corps assez mince pour montrer le vert de second ordre en lumière polarisée, on peut, comme je l'ai observé, l'écraser de façon que la teinte baisse et devienne celle du violet du second ordre; de plus, si l'écrasement a été fait avec soin, on constate que l'orientation optique n'a pas été modifiée : on a donc simplement diminué l'épaisseur de la lamelle, qui s'est étalée. En outre, parmi les corps que nous aurons à étudier plus loin, il en est, comme l'oléate de potasse ou d'ammoniaque, qui donnent naissance à des cristaux ayant la consistance de l'huile d'olive, et qui ne se distinguent des véritables cristaux que par ce fait, que leurs faces sont courbes. Il y a donc tous les passages entre la consistance des cristaux solides et celle de véritables liquides, et l'état solide ne saurait être considéré comme une caractéristique de l'état cristallisé. A vrai dire de nombreuses objections ont été faites à ces conclusions : les uns ont vu dans les liquides biréfringents des liquides impurs, les autres y ont vu des émulsions; mais aujourd'hui, comme on le verra dans la suite, il ne saurait y avoir de doute sur la véritable nature de ces liquides, qui

présentent toutes les propriétés des corps cristallisés.

Suivant l'exemple de M. Lehmann nous distinguerons, dans l'exposé de ces propriétés, les cristaux mous des cristaux liquides. Les premiers présentent une forme propre, des formes cristallines qui ne diffèrent des formes cristallines des cristaux solides qu'en ce que les faces et les arêtes sont courbes; les seconds, comme tous les liquides, n'ont pas de formes propres et s'ils sont en suspension dans un autre liquide, ils affectent la forme de gouttes sphériques.

CRISTAUX MOUS.

Le meilleur exemple de cristaux mous que l'on puisse citer est fourni par l'azoxybenzoate d'éthyle, qui se comporte comme l'iodure d'argent. Solide au-dessous de 113°,5, liquide et isotrope au-dessus de 120°,5, ce corps donne naissance entre ces deux températures à des cristaux mous, ayant la forme de prismes quadratiques combinés avec les bases, mais dont les faces et les arêtes sont courbes. Ces cristaux sont fortement polychroïques : ils sont jaunes ou incolores suivant que la vibration lumineuse incidente est parallèle ou perpendiculaire à la longueur.

Les oléates fournissent également des cristaux mous, en les faisant dissoudre dans de l'alcool à chaud et en laissant refroidir. Avec l'oléate d'ammoniaque les cristaux ont la forme d'une double pyramide très allongée, dont on n'a pu déterminer le nombre des faces et par suite le système cristallin. Ces cristaux polarisent vivement la lumière et s'éteignent parallèlement à leur longueur; quand celle-ci est parallèle à l'axe du microscope, les cristaux restent éteints dans toutes les orientations, ce qui permet de conclure à l'uniaxie optique.

Les cristaux qui viennent d'être décrits sommairement se prêtent à une série d'expériences du plus haut intérêt, parce qu'elles mettent en évidence les actions moléculaires, intervenant dans la réparation des plaies, la fusion des cristaux et la formation des macles.

Tout d'abord, si l'on déforme un cristal, en le courbant, en le tordant, en le comprimant, dès que l'action mécanique cesse de s'exercer le cristal reprend de lui-même sa forme primitive et son homogénéité, comme l'indique l'unité d'extinction. Mais le fait le plus important peut-être consiste en ce que, si la déformation est régulière ; si, par exemple, on étire un cristal perpendiculairement à sa direction d'allongement, toutes les parties du cristal continuent à s'étendre simultanément ; on peut ainsi étirer un cristal en une longue bande homogène. Nous reviendrons plus loin sur les conclusions capitales que l'on peut déduire de cette expérience.

Si l'on sectionne un de ces cristaux, on voit immédiatement chacune des extrémités intéressées par la section se modifier de façon que chaque fragment reprenne la forme du cristal primitif : des molécules, faisant déjà partie de l'édifice, se déplacent de façon à venir prendre la place de molécules déficientes de façon à compléter le cristal qui se trouve simplement raccourci. Le cristal ainsi réparé est parfaitement homogène et il ne reste pas trace du trouble momentané que l'action mécanique a pu introduire dans sa structure.

En second lieu, lorsque deux cristaux se trouvent à proximité, on les voit tourner sur eux-mêmes de façon à devenir parallèles, puis se souder et se fusionner en un seul, qui, en lumière polarisée, se montre absolument homogène ; le mouvement de rotation est d'abord assez lent, puis devient si rapide que l'œil peut à peine le suivre. Mais il est un cas où les deux

cristaux ne se fusionnent pas, c'est celui où leurs directions d'allongement, leurs axes, font entre elles un angle à peu près droit : on voit alors les axes se placer rigoureusement à angle droit et les cristaux se pénétrer de façon à constituer une macle. Les cristaux ne se fusionnent pas, comme on peut le constater, grâce au polychroïsme : quand l'un est jaune, l'autre est incolore. Il est à remarquer que l'orientation réciproque des deux cristaux ne paraît pas être complètement déterminée; l'un des axes paraît pouvoir occuper une position quelconque dans le plan perpendiculaire à l'axe de l'autre.

Ces phénomènes d'orientation sont particulièrement intéressants, car ils représentent d'une façon visible les phénomènes d'orientation qui doivent se produire dans la cristallisation : lorsqu'un cristal s'accroît, il exerce sur les particules complexes voisines une action d'orientation qui, le plus souvent, les amène à être parallèles à celles constituant le cristal; mais, à côté de cette orientation qui correspond au maximum de stabilité, il en est d'autres qui sont également stables et que la particule complexe adoptera si elle en est plus voisine que du parallélisme : elle sera, dans cette nouvelle orientation, le point de départ d'un nouveau cristal qui sera maclé avec le premier.

La macle peut, d'ailleurs, être obtenue au moyen d'un seul cristal : si l'on ploie un cristal, il se courbe, puis se brise, les deux fragments restant accolés l'un à l'autre et ayant leurs axes à 90°.

Les cristaux de benzoate de cholérestérine donnent également des macles, mais celles-ci sont constituées de trois cristaux orientés à 120°.

Enfin, M. Lehmann a constaté que chacun des petits cristaux solides d'azoxybenzoate d'éthyle donnait naissance à un cristal mou, homogène et dont l'orientation paraît bien être

en relation avec celle du cristal solide, sans que ce savant ait déterminé la nature de cette relation.

Il nous reste à parler des changements de formes que détermine une modification dans la valeur de la tension superficielle. Si l'on amène un cristal à toucher une bulle d'air par une de ses faces latérales, il ne produit aucun changement. Mais si le contact a lieu par une extrémité, on voit le cristal s'étaler autour de la bulle en arc de cercle; l'extinction dans cette partie déformée se fait alors suivant les rayons de la bulle. Dans le cas où plusieurs cristaux s'accolent de cette façon sur la même bulle, ils se soudent et lui forment une couronne continue. De plus, si la bulle est une bulle de vapeur, qui disparaît par refroidissement, la couronne se transforme en sphérolite.

Tels sont les faits les plus intéressants relatifs aux cristaux mous; on trouvera, dans l'Ouvrage de M. Lehmann, beaucoup d'autres détails.

CRISTAUX LIQUIDES.

Tous les cristaux liquides se présentent dans les mêmes conditions : le corps qui leur donne naissance, cristallisé et solide à la température ordinaire, se transforme, à une température parfaitement déterminée, en un liquide opalescent, fortement biréfringent, qui est le corps cristallisé liquide, puis celui-ci, à une température fixe, se transforme en un liquide transparent et isotrope. Par refroidissement les phénomènes inverses se produisent. La première température est dite température de *transformation*, la seconde température de *fusion*.

L'état trouble du liquide biréfringent a fait penser à quelques auteurs que ses propriétés étaient dues à la pré-

sence d'impuretés. Mais certains de ces corps ont été préparés de plusieurs façons; on en a même fait la synthèse et toujours ils ont présenté les mêmes caractères : l'existence d'impuretés doit donc être écartée. M. Tammann a considéré le liquide trouble comme résultant du mélange de deux liquides à l'état d'émulsion, et, pour lui, il n'y a pas biréfringence, mais dépolarisation de la lumière par la rencontre des gouttelettes en suspension. On sait que, quand deux liquides A et B ne sont pas miscibles en toutes proportions, si on les mélange il se forme deux couches : l'une, du liquide A contenant en dissolution une certaine proportion de B; l'autre, du liquide B renfermant une certaine proportion de A : les deux proportions ne sont pas identiques sans quoi il n'y aurait pas séparation en deux couches. Mais les proportions peuvent varier avec la température, de telle sorte que, en chauffant les liquides, on peut les amener à une température dite *température critique de dissolution*, à laquelle A dissolvant B en même quantité que B dissout A, la surface de séparation disparaît naturellement. Si l'on refroidit au-dessous de la température critique, l'un des liquides va se séparer de l'autre sous forme de gouttelettes et il en résultera une émulsion; le nombre des gouttelettes augmentera quand la température baissera, et, si l'on maintient l'émulsion à une température fixe, elles se grouperont peu à peu soit au fond soit à la surface pour donner une couche du second liquide. Pour M. Tammann, en fondant les cristaux solides, on obtient une émulsion constituée par deux liquides non miscibles et la température de fusion est la température critique de dissolution. Pour appuyer son opinion, M. Tammann se basait sur ce que du *p*-azoxyanizol, maintenu pendant 30 à 40 heures à la température de 118°, se divisait en deux couches, dont la supérieure était claire, comme cela se produit dans le cas des émulsions. Mais l'échantillon même de M. Tammann a

été étudié à nouveau et l'on a constaté qu'il était impur et résultait du mélange de deux corps : le *p*-azoxyanizol et le *p*-azoanizol, qui tous deux donnent des cristaux liquides. D'ailleurs, M. Schenck s'est proposé d'écarter cette objection d'une façon définitive par une série de déterminations et d'expériences. En soumettant le liquide trouble à l'action de la force centrifuge, il n'a pas constaté de dépôt, comme cela a lieu pour les émulsions. Chez celles-ci, l'intensité du trouble varie avec la température; en mesurant l'intensité de l'absorption aux différentes températures, M. Schenck a constaté que le trouble dans les liquides biréfringents était constant, mais variait brusquement lorsque le corps devient soit transparent, soit solide. Enfin la viscosité du liquide biréfringent est moindre que celle du liquide transparent et il y a une forte discontinuité au point de fusion. Dans une émulsion, au contraire, la viscosité diminue graduellement et passe, sans discontinuité à celle du liquide transparent.

Enfin, les phénomènes optiques sont bien ceux que l'on observe à travers une lame cristalline et ne sauraient être confondus avec une dépolarisation. L'hypothèse de M. Tammann doit donc être définitivement abandonnée.

Caractères optiques. — Dans la description de ces caractères il est nécessaire de distinguer les plages homogènes, seules comparables aux cristaux solides, des gouttes sphériques, qui ne peuvent être comparés qu'aux sphérolithes.

Pour obtenir les premières, on fait fondre sur une lame de verre porte-objet des cristaux de la substance et on les recouvre d'une lamelle de verre ; par refroidissement on obtient des plages différemment orientées de cristaux polychroïques dans les teintes jaunes, très fortement biréfringents puisque cette biréfringence est à peu près égale à 0,4. Si l'on chauffe lentement la préparation, quand on

atteint la température de transformation, chaque plage solide donne naissance à une plage liquide homogène, orientée optiquement comme elle, polychroïque comme elle; mais toutes les teintes de polarisation chromatique baissent légèrement dans l'échelle de Newton, ce qui indique une diminution dans la biréfringence. Comme dans les cristaux solides le retard introduit par ces plages est proportionnel à l'épaisseur. Fait particulièrement intéressant, si l'on appuie la lamelle de verre supérieure on force les plages à s'étaler, à diminuer d'épaisseur sans qu'elles perdent leur homogénéité. Si l'on fait glisser la lamelle sur la lame porte-objet, la lamelle entraîne la partie supérieure des plages, qui chevauchent les unes sur les autres sans se mélanger.

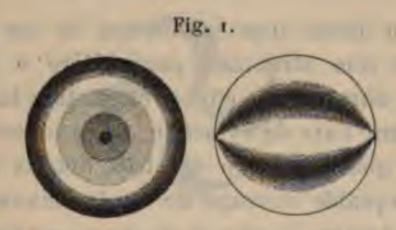
La possibilité pour les plages liquides de rester juxtaposées sans se mélanger permet d'expliquer le trouble que présentent les liquides biréfringents quand on les agite : si l'on fond les cristaux solides sans précautions, le liquide visqueux est constitué de plages, de filaments, de gouttelettes enchevêtrées et différemment orientées; un rayon lumineux qui traverse la préparation rencontre donc des plages d'indices de réfraction très différents, puisque la biréfringence est élevée, et par suite ce rayon est brisé dans sa marche.

Les liquides biréfringents dans l'état où nous venons de les obtenir constituent de véritables cristaux, puisqu'ils sont homogènes et que, sans intervention de forces extérieures, ils sont anisotropes; mais les mêmes liquides peuvent donner naissance à des édifices de structure tout à fait différente, qui sont bien anisotropes, mais qui ne sont pas homogènes, et qui par suite ne sauraient être considérés comme des cristaux.

Si l'on fond des cristaux de *p*-azoxyanizol avec un peu de colophane ou d'huile, on obtient le liquide biréfringent sous forme de gouttelettes, présentant des caractères tout particuliers. Elles sont complètement transparentes et se distinguent

des gouttes de liquides ordinaires en ce que l'examen en lumière ordinaire suffit pour révéler une structure interne. Dans une position elles montrent une tache noire centrale, entourée d'une auréole grise; le diamètre passant par le centre de la tache a reçu de M. Lehmann le nom d'axe de symétrie; dans une position à 90° elles montrent, dans leur partie centrale, par suite des réflexions totales, les apparences d'une lentille biconvexe, dont l'axe est confondu avec l'axe de symétrie, et qui se raccorde avec la surface extérieure de la goutte suivant le plan équatorial (*fig.* 1). La tache noire ne peut

Fig. 1.



s'expliquer que d'une façon : l'axe de symétrie est un axe de réfraction conique interne, à l'intérieur duquel aucun rayon lumineux ne passe.

En faisant tomber un rayon polarisé sur une goutte dans la première position, on constate qu'elle est polychroïque : on voit en effet à sa surface quatre quadrants alternativement jaunes et blancs. Mais ces quadrants ne sont pas orientés symétriquement par rapport à la vibration incidente. De plus le phénomène change suivant que l'on emploie le polariseur ou l'analyseur pour obtenir la vibration polarisée : pour que les quadrants jaunes et blancs occupent la même position, il faut que l'analyseur soit orienté à 90° de l'orientation du polariseur.

En lumière polarisée, si la goutte est très petite elle montre une croix noire dont les bras sont situés dans les

plans de vibration de l'analyseur et du polariseur, et les quadrants présentent des teintes dues à la polarisation chromatique. Mais il en est tout autrement si la goutte est épaisse; les quadrants montrent les teintes jaunes et blanches du polychroïsme et la croix devient rouge ou verte, ou bien encore rouge aux deux extrémités et verte au milieu ou inversement. Mais en faisant tourner l'analyseur on peut ramener la croix à être à peu près noire : il faut par exemple le faire tourner de 55° dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, mais bien entendu, pour d'autres gouttes la rotation est différente.

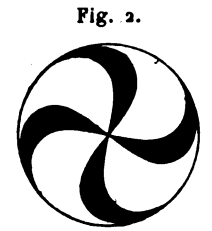
M. Lehmann donne une explication de ces phénomènes en attribuant une structure particulière à ces gouttes, structure qui aurait pour effet d'engendrer la polarisation rotatoire suivant l'axe de symétrie. On trouvera cette explication, ainsi que beaucoup d'autres détails intéressants, dans le remarquable ouvrage de M. Lehmann. Mais il est nécessaire de décrire l'action d'un champ magnétique et de la chaleur sur ces gouttelettes.

Si l'on place une goutte dans un champ magnétique, elle tourne de façon que l'axe de symétrie soit parallèle aux lignes de force : on assiste donc à un phénomène analogue à celui qui a déjà été constaté bien des fois pour les cristaux solides en suspension. Mais, ce qui est plus intéressant, c'est que si la goutte ne peut tourner sur elle-même, les éléments constituants changent d'orientation, comme on le constate optiquement, sans qu'il y ait déformation de la goutte. Dès que l'action du champ disparaît, les éléments reprennent leur première orientation. Le phénomène serait donc identique à celui que l'on admet depuis longtemps dans le fer sous l'influence d'un champ magnétique.

Un phénomène des plus intéressant consiste dans la rotation des gouttes sous l'influence des différences de tempéra-

ture. Si l'on chauffe la face inférieure de la préparation de façon qu'il y ait une différence de température entre la face inférieure et la face supérieure, on voit tourner les gouttes sur elles-mêmes, avec une vitesse d'autant plus grande que la différence de température est plus prononcée. Mais, comme les parties superficielles tournent plus vite que les parties profondes, les phénomènes optiques sont profondément modifiés : quand la molécule a son axe vertical, la croix noire est transformée en une double spirale (*fig.* 2). Si l'axe de la

Fig. 2.



goutte est dans le plan de la préparation, la lentille que l'on voit en lumière naturelle est transformée en une spirale, pouvant présenter plusieurs tours. Comme le fait remarquer M. Lehmann, cette rotation doit résulter de l'anisotropie des molécules vis-à-vis du milieu extérieur. Quelle que soit la cause, on se trouve ici en présence d'un champ laplacien, puisque le déplacement s'effectue dans une direction perpendiculaire aux lignes de force, c'est-à-dire, dans ce cas, au flux calorifique.

Ces gouttes biréfringentes offrent un intérêt tout particulier, car leurs propriétés ne peuvent s'expliquer que par une structure spéciale et non par la présence d'impuretés. On comprend par suite que le même liquide puisse affecter une autre structure lui donnant les propriétés des corps cristallisés.

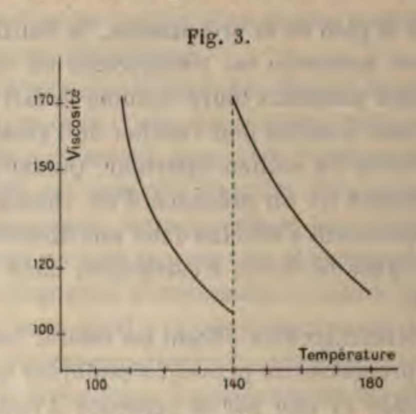
PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES LIQUIDES CRISTALLISÉS.

Après les propriétés optiques étudiées par M. Lehmann, il est nécessaire de passer en revue les principales propriétés physiques des liquides qui nous occupent, propriétés dont l'examen fait l'objet du Livre de M. Schenck.

Densité. — Différents auteurs ont déterminé la densité des liquides anisotropes et recherché comment cette densité variait avec la température. De ces travaux il résulte que la densité diminue d'une façon continue, jusqu'à la température de fusion où se produit une diminution brusque suivie, pour le liquide isotrope, d'une nouvelle diminution continue.

Influence de la pression. — M. Hulett a cherché quelle pouvait être l'influence de la pression sur les températures de

Fig. 3.



transformation et de fusion, et il a montré, d'une façon très nette, que ces températures s'élevaient quand la pression augmentait. Mais, en outre, l'écart existant entre ces deux températures augmente également avec la pression. Ce

dernier point n'est pas sans importance, car, si les températures s'étaient rapprochées, on eût été en droit d'en conclure qu'elles se confondaient pour une certaine pression à partir de laquelle la phase anisotrope disparaissait.

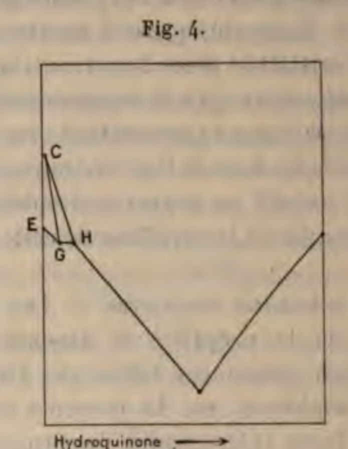
Viscosité. — Cette propriété a fait l'objet des recherches de MM. Schenck et Eichwald, qui ont montré qu'elle diminue dans le liquide cristallisé d'une façon continue quand la température s'élevait, mais qu'à la température de transformation, il se produisait une augmentation brusque suivie d'une diminution graduelle dans le liquide isotrope. Le diagramme de la figure 3, relatif au *p*-azoxyanizophénétol, rend bien compte de la marche de la variation de cette viscosité.

Influence des substances étrangères. — Les liquides cristallisés jouissent de la propriété de dissoudre en quantités notables certaines substances telles que l'hydroquinone, le thymol, le benzophénon, etc. La présence de ces substances modifie, d'une façon intéressante, les propriétés du liquide. Comme toujours, les températures de fusion et de transformation sont abaissées, et cela d'autant plus que la proportion de la substance étrangère est plus élevée. Mais, en outre, la température de fusion n'est plus unique, en ce sens que si on laisse refroidir le liquide isotrope résultant du mélange, le trouble apparaît d'abord léger, puis va en augmentant pendant un certain intervalle de température, intervalle qui augmente avec la proportion de la substance étrangère. Si on laisse refroidir le liquide biréfringent, il se solidifie à une température qui baisse quand la proportion de la substance étrangère augmente. Mais si la proportion de celle-ci dépasse une certaine valeur, les choses se passent tout autrement : le liquide ne devient pas biréfringent et le liquide isotrope laisse directement déposer des cristaux du dissolvant et s'en-

richit en substance étrangère, jusqu'au moment où la température ait atteint la valeur eutectique à laquelle il y a cristallisation en masse.

Le diagramme suivant (*fig.* 4) relatif au mélange d'hydroquinone au *p*-méthoxyzimmtsaüre met bien en évidence la

Fig. 4.



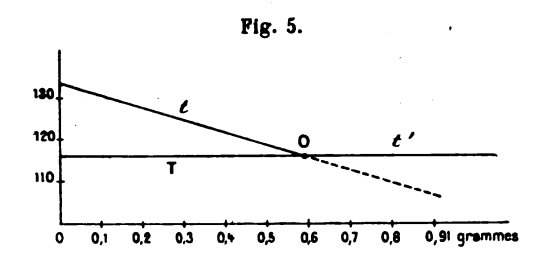
marche de la solidification. Le domaine compris entre les droites CH et CG correspond à la phase pendant laquelle le trouble augmente, et celui compris entre les droites CG et EG correspond à la phase liquide cristallisée. On voit donc que, pour toute proportion supérieure à celle qui correspond au point H, le liquide passe directement de la phase isotrope à la phase solide.

Mais quand la proportion de la substance dissoute est assez élevée pour que la phase isotrope passe directement à la phase solide, le phénomène peut être beaucoup plus complexe. Si, en effet, on laisse le mélange se refroidir lentement sans agitation, on peut l'amener à une température inférieure à la température t' à laquelle se produisent les

cristaux sans entraîner leur formation ; mais alors, à une température t inférieure à t', on voit le liquide se troubler et devenir biréfringent. Le liquide cristallisé est dans un état instable, car si on l'agite ou si l'on sème un cristal solide du dissolvant, on voit les cristaux se précipiter, le liquide redevenir isotrope et le phénomène reprend sa marche normale.

MM. Schenck et Schneider ont étudié l'influence du benzophénon en proportions variables sur le *p*-azoxyanizol et le diagramme suivant (*fig.* 5), correspondant à 13^{g},61 d'azoxy-

Fig. 5.



anizol, représente le résultat de leurs recherches ; la droite T correspond à la température normale de transformation. Les droites se coupent en un point O correspondant à une quantité de benzophénon un peu inférieure à 0^{g},6. A gauche de ce point, les phases liquide isotrope, liquide cristallisée et solide cristallisée se suivent normalement : les deux phases cristallisées passent de l'une à l'autre par une transformation énantiotropique. A droite, au contraire, il n'y a équilibre qu'entre la phase liquide isotrope et la phase solide : la phase liquide cristallisée ne peut être obtenue que grâce à une surfusion, elle est instable et ses rapports avec la phase solide sont ceux d'une monotropie.

Mélanges isomorphes. — Les liquides cristallisés se mé-

langent en toute proportion, et, comme dans certains cas ils donnent, en se solidifiant, naissance à des cristaux solides qui sont des mélanges isomorphes, on en a conclu que les liquides cristallisés constituaient également des mélanges isomorphes. Rien ne s'oppose à l'adoption de cette conclusion. Mais, dans d'autres cas, les deux substances donnent des cristaux solides différents : elles ne sont pas isomorphes à l'état solide. Comme dans ce cas, elles présentent dans leur solidification tous les caractères d'une dissolution, et qu'en particulier il existe une température eutectique, on a voulu en conclure que le mélange isomorphe à l'état liquide pouvait être considéré comme une dissolution suivant l'hypothèse de Van't Hoff. Mais il y a une objection grave à cette interprétation des faits : le mélange, en effet, ne présente pas alors une température de fusion, il y a un intervalle de température pendant lequel s'effectue la fusion, absolument comme dans le mélange d'un liquide isotrope et d'un liquide cristallisé. Or, dans ce cas, on n'a pas affaire à un mélange isomorphe, mais à un mélange de deux liquides, miscibles entre eux. Il est donc fort probable que, dans le cas considéré de deux liquides cristallisés, on a un mélange de deux liquides miscibles, mais non un mélange isomorphe. Il ne faut pas oublier, en effet, que le mélange isomorphe n'est pas un simple mélange, mais qu'il correspond à une structure particulière : la particule complexe du mélange isomorphe est constituée par les molécules des deux corps. A côté d'un tel mélange, il en peut exister d'autres dans lesquels les particules complexes des deux corps ont conservé leur individualité.

CONCLUSIONS.

Les faits que l'on vient d'exposer sont susceptibles de modifier d'une façon notable la conception généralement admise sur la structure des corps cristallisés. Rappelons brièvement quelle est cette conception : l'observation nous révèle que certains corps sont homogènes et anisotropes, sans intervention de force extérieure. Autrement dit, ces corps présentent les mêmes propriétés en tous leurs points, suivant toutes les droites parallèles; mais, en général, deux droites non parallèles possèdent des propriétés différentes. Ces corps homogènes et anisotropes sont dits *cristallisés;* très fréquemment ils sont limités par des faces planes satisfaisant aux lois de la constance des angles, des indices rationnels et à la loi de symétrie. Les premiers cristallographes, n'ayant que des connaissances tout à fait incomplètes sur les propriétés des corps cristallisés, considéraient les faces planes comme caractéristiques et comme permettant de distinguer les corps cristallisés des corps amorphes. Mais une telle définition est inacceptable, puisque les faces planes font fréquemment défaut et qu'elle ne permettrait pas de distinguer un grain de quartz, limité par une surface quelconque, tel que ceux des granits, d'un grain de quartz fondu et amorphe. On a dit, il est vrai, que les corps cristallisés, n'étaient pas les seuls qui fussent homogènes et anisotropes en citant comme exemples le verre trempé, les fibres de cellulose, etc., oubliant que dans tous ces cas la biréfringence est due à des actions extérieures, et que, si l'on n'exclut pas l'intervention de ces actions, la présence des faces est également insuffisante à distinguer un corps cristallisé d'un corps amorphe, puisque, dans un morceau de verre, par exemple,

il est loisible de tailler des faces planes satisfaisant aux lois de la cristallisation : ces faces planes sont dues à des forces externes absolument comme la biréfringence d'un morceau de verre trempé.

Partant de cette observation que les corps cristallisés étaient homogènes et anisotropes, on a recherché quelle devait être la structure de ces corps pour posséder de telles propriétés et l'on est arrivé à cette conclusion qu'ils devaient être constitués de groupes de molécules identiques entre eux, possédant la symétrie du corps cristallisé, parallèlement orientés et répartis suivant les mailles d'un système réticulaire. Ces groupes de molécules ont reçu le nom de *particules complexes* ou *particules cristallines*.

Cette conception avait le grand avantage d'expliquer la présence possible des faces planes, qui coïncidaient avec les plans réticulaires, d'expliquer la rationalité des indices et enfin de montrer pourquoi les cristaux ne montraient que des axes de symétrie d'ordre 2, 3, 4 et 6. Mais, en réalité, la condition d'homogénéité n'est pas remplie, tout au moins théoriquement parlant. Si, en effet, on considère deux droites parallèles, en général la matière n'est pas répartie de la même façon le long de ces deux droites et, par conséquent, elles ne doivent pas jouir des mêmes propriétés ; si l'expérience nous conduit à une conclusion différente, c'est que, en réalité, nous déterminons les moyennes des propriétés des droites comprises dans un filet cylindrique et c'est cette moyenne qui reste identique quand le filet cylindrique se déplace parallèlement à lui-même. Mais alors on arrive à cette conclusion que, si la répartition réticulaire présente ce que l'on pourrait appeler le *maximum d'homogénéité*, il n'en est pas moins vrai qu'elle n'est pas nécessaire pour expliquer l'homogénéité et l'anisotropie, telles que nous les constatons expérimentalement. Il suffit que les particules soient orientées parallèlement et suf-

fisamment rapprochées pour que les filets cylindriques parallèles présentent la même moyenne de propriétés, absolument comme cela a lieu pour les corps amorphes. Bien entendu, dans un tel corps, on ne peut s'attendre à la formation de faces planes d'orientation déterminée, puisqu'il n'y a plus discontinuité entre les propriétés de deux plans voisins. En outre, la symétrie du corps n'est que sous la dépendance de la symétrie de la particule et, par conséquent, l'ordre des axes ne peut être limité *a priori*.

Cette structure paraît bien être celle qu'il faille attribuer aux cristaux liquides et, dans la généralité des cas, aux cristaux mous. On a vu en effet que, si l'on comprime l'azotate d'ammoniaque, les cristaux d'oléate et les cristaux liquides, avec des précautions suffisantes, on les étale sans modifier leur structure, sans changer leur orientation, on détermine, suivant l'expression de M. Lehmann, une *véritable translation*. De cette expérience découlent en effet des conclusions importantes : tout d'abord, il en résulte que les particules complexes sont bien les éléments mobiles; si elles ne se conservaient pas dans la déformation, si les molécules chimiques qui les constituent se déplaçaient librement, l'édifice cristallin serait détruit, tout au moins momentanément, ce qui n'échapperait pas à l'observation. Nous avons, en effet, des exemples de destruction et de reconstitution d'édifices cristallisés, et par suite de particules complexes, dans les transformations polymorphiques, lorsque le polymorphisme est indirect, et l'on constate parfaitement l'existence d'une phase de transformation. Ce sont donc les particules complexes qui se déplacent et, en vertu de leurs actions réciproques, elles restent parallèlement orientées. D'autre part, quand on fait fondre des cristaux solides de *p*-azoxyanizol de façon à obtenir des cristaux liquides ayant la même orientation, il est fort probable que dans ces derniers les particules complexes sont répar-

ties suivant les mailles d'un système réticulaire, comme dans les cristaux solides. Mais, quand on étale le cristal, cette répartition doit disparaître : les propriétés n'en sont pas pour cela modifiées, pas plus que les propriétés, l'indice de réfraction par exemple, d'un corps mou isotrope ne sont modifiées quand on étale ce corps. Bien entendu, il ne faudrait pas vouloir étendre le raisonnement aux molécules elles-mêmes et dire que, dans la déformation, les molécules glissent les unes sur les autres en conservant leur orientation. Car, à moins de se faire de l'état cristallisé une conception toute différente de celle habituellement admise, l'orientation des molécules n'est pas déterminée en elle-même, mais relativement aux molécules voisines ; il faudrait donc que cette orientation se modifie pendant l'écrasement.

On comprend au contraire sans peine que les particules restent parallèles, car nous avons vu que deux cristaux mous, sous l'influence de leurs actions réciproques, s'orientaient parallèlement avec une telle vitesse que l'œil ne peut suivre le mouvement.

On est donc amené à considérer le phénomène de la cristallisation de la façon suivante : les particules complexes exercent les unes sur les autres deux sortes d'actions, les unes d'orientation, les autres attractives. Lorsque ces dernières sont énergiques, la position relative des particules est déterminée ; elles se répartissent suivant un système réticulaire et le corps cristallisé est solide ; si, au contraire, elles sont faibles ou nulles, la position des particules n'est plus déterminée, elles s'orientent parallèlement entre elles et le corps cristallisé est liquide. Enfin, dans les cas intermédiaires, si les conditions de cristallisation sont particulièrement favorables, les particules se répartissent suivant les mailles d'un système réticulaire, et les cristaux sont limités par des faces planes ; sinon, les particules ne sont plus qu'im-

parfaitement réparties suivant les mailles, et les cristaux ne présentent plus de face plane : c'est le cas de l'azotate d'ammoniaque, qui, comme on le sait, ne posséde de formes cristallines que tout à fait exceptionnellement.

La considération des cristaux liquides nous amène donc à élargir la notion de l'état cristallin et à ne plus considérer la répartition réticulaire comme indispensable. Les cristaux liquides nous montrent en outre que les propriétés qui varient d'une façon continue avec la direction, telles que les propriétés optiques, ne sont que sous la dépendance de la particule complexe et que, seules, les propriétés comportant une discontinuité, comme l'existence des faces planes, des plans de clivage, sont en rapport avec le système réticulaire.

Minéraux nouveaux ;

Par M. Paul Gaubert.

M. R.-H. Solly vient de décrire (*Mineralogical Magazine*, vol. XIV, p. 72-82, n° 64, mai 1905) les nouveaux minéraux suivants qui se trouvent tous dans la dolomie de Lengenbach, vallée de Binn (Suisse).

Hutchinsonite. — Ce minéral se présente habituellement en petits prismes rhombiques, aplatis et limités par les faces h^1 (100), g^1 (010) et par des faces pyramidales très étroites. Les cristaux sont transparents, de couleur rouge ou noir grisâtre. Leur poussière est rouge vermillon et leur dureté de 1,5 à 2.

Orthorhombique.

$$a:b:c = 0,8175 : 1 : 0,7549.$$

Ces constantes sont tirées de la valeur des angles suivants :

$$h^1 g^7 (100)(340) = 47°28' \text{ et } h^1 a^1 (100)(101) = 47°17'$$

La hutchinsonite, d'après les recherches de M. Prior, est un sulfarséniure de thallium, de plomb, d'argent et de cuivre. La quantité de thallium atteint presque 20 pour 100.

Ce nouveau minéral a été dédié à M. H. Hutchinson.

Smithite. — Monoclinique.

$$a:b:c = 2,2309 : 1 : 1,9657; \qquad \beta = 78°47'30''.$$

Ces nombres sont tirés de la valeur des angles :

$$h^1 o^1 (100)(101) = 42°22'; \; h^1 a^1 (100)(10\bar{1}) = 55°;$$
$$h^1 d^{\frac{1}{2}} (100)(111) = 63°24'.$$

Les cristaux ressemblent à une pyramide hexagonale aplatie et tronquée par la face p (001). Leur couleur est rouge clair, leur éclat adamantin et leur poussière rouge. Ils sont transparents ou translucides. Leur dureté est de 1,5 à 2. Il existe un clivage parfait suivant h^1 (100). Exposés à l'air les cristaux s'altèrent et deviennent rouge orangé.

D'après les recherches de M. G. Prior, la smithite a une composition correspondant à la formule $Ag\,As\,S^2$.

Ce minéral a été dédié à M. G.-F. Smith.

Trechmannite. — Ce minéral ressemble par sa couleur à la hutchinsonite et à la smithite mais il en diffère par son système cristallin. Il est en effet rhomboédrique.

$$a:c = 1:0,6556$$

rapport calculé d'après la valeur de l'angle b^1p $(1\bar{1}0)$ $(100) = 58°25'$.

Les cristaux observés ont la forme d'un prisme hexagonal terminé par des faces rhombiques et pyramidales. Il existe un clivage parfait perpendiculaire au prisme. L'analyse de ce minéral, dédié à M. O.-C. Trechmann, n'a pas été faite.

Marrite. — Monoclinique.

$$a:b:c = 0,57634:1:0,47389: \quad \beta = 88°45'.$$

Valeurs tirées de la valeur des angles suivants :

$$ph^1(001)(100) = 88°45'; \; g^1m(010)(110) = 60°3'; \; g^1e^1(010)(011) = 64°39.$$

Les cristaux montrent de nombreuses faces qui sont brillantes et possèdent l'éclat métallique. Leur couleur va du gris de plomb au gris d'acier. Ils sont opaques, ont une dureté de 3 et sont dépourvus de clivage. La composition n'a pu être déterminée à cause de la faible quantité de matière trouvée jusqu'à présent. Dédiée à M. J.-E. Marr.

Lengenbachite. — Ce minéral se présente en cristaux foliacés, souvent très minces, possèdant un clivage parfait et un éclat extraordinaire. Un des cristaux trouvés mesure 40mm de long sur 5mm de large. Habituellement les lames minces striées parallèlement à leur longueur sont entrelacées irrégulièrement; cependant il paraît exister parfois des macles.

Les constantes cristallographiques n'ont pu être déterminées mais le minéral est probablement triclinique.

Les lames sont flexibles, mais dépourvues d'élasticité. Leur densité est de 5,80 et leur couleur est gris d'acier. Elles sont opaques. Les essais faits par M. A. Hutchinson ont montré que la lengenbachite est essentiellement un sulfarséniure de

plomb avec de petites quantités d'argent, de cuivre et d'antimoine.

BOWMANITE. — Rhomboédrique.

$$a:c = 1:1,1847;$$
$$pa^1(100)(111) = 53°50'.$$

Les formes observées sont seulement a^1 (111) et p (100).

Il existe un clivage parfait suivant a^1 (111).

Les cristaux ayant habituellement la forme de lames minces hexagonales, aplaties suivant a^1 (111), sont groupés en rosette. Quelquefois les cristaux ressemblent à un octaèdre par suite de l'égal développement des faces a^1 (111), p (100).

Les cristaux ont une couleur jaune de miel et sont transparents. Leur dureté est de 4,5 et leur densité de 3,2.

Ils sont uniaxes et positifs, mais d'après M. Bowman les lames de clivages montrent sous le microscope six secteurs biaxes perpendiculaires à une bissectrice aiguë positive. La trace du plan des axes est presque perpendiculaire au côté adjacent de la lame hexagonale.

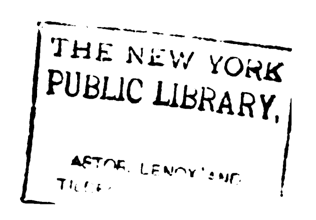
La biréfringence est assez forte et la valeur de 2E va de 50° à 0°, cas où il n'existe plus de secteurs.

D'après M. Bowman, ce minéral, auquel M. Solly l'a dédié, est constitué essentiellement par un phosphate de chaux, d'alumine, avec un peu de fer et d'eau.

Le Secrétaire gérant :

MAURICE BLONDEL.

36297 Paris. — Imp. Gauthier-Villars, 55, quai des Grands-Augustins.



BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE.

ANNÉE 1905. — BULLETIN N° 8.

Compte rendu de la Séance du 14 décembre 1905.

PRÉSIDENCE DE M. FRÉD. WALLERANT.

M. le PRÉSIDENT proclame membre de la Société :

M. J. COUYAT, licencié ès sciences, présenté par MM. A. Lacroix et de Romeu.

M. le PRÉSIDENT annonce plusieurs présentations.

M. A. LACROIX met sous les yeux de la Société des minéraux (néphéline, sodalite, arfwedsonite, låvénite, etc.) provenant de pegmatites, de syénites néphéliniques des Iles de Los, sur la côte de Guinée. Une Note à ce sujet sera publiée ultérieurement dans le *Bulletin*.

M. PAVOT signale de nouvelles découvertes d'échantillons du « Caillou de Rennes » ; ce sont, cette fois, des spécimens indiscutables de fossilisation par voie de substitution chimique. Ces polypiers, ces végétaux ligneux, transformés en

jaspe blond et rouge, aux nuances typiques, sont intéressants au triple point de vue : 1° de la substance fossilisante trouvée ainsi *in situ;* 2° des circonstances qui tendent à fixer du même coup l'époque et le mode de sa formation; 3° enfin d'assez nombreuses pièces présentent la trace indiscutable du travail de l'homme et sont, à n'en pas douter, des armes ou des outils préhistoriques.

M. Wyrouboff entretient la Société de ses recherches sur le dimorphisme. Il montre que le sulfate de nickel quadratique, contrairement à l'affirmation de Lehmann, passe facilement à la forme clinorhombique lorsqu'on le chauffe au-dessus de 50°; que l'aragonite ne se transforme pas *directement* en calcite, comme l'avaient pensé MM. Klein et Mügge : la transformation est accompagnée de la destruction du réseau orthorhombique. Il montre enfin que le sulfate d'éthylène-diamine, qui est doué du pouvoir rotatoire, reprend, lorsqu'on le chauffe, son réseau réel qui est orthorhombique; à une température plus élevée, il devient cubique.

Sur la coloration artificielle des cristaux d'acide phtalique;

Par M. Paul Gaubert.

Les matières colorantes d'un cristal se trouvent dans ce dernier sous deux états différents, faciles à distinguer l'un de l'autre : elles conservent certaines propriétés de l'état solide (polychroïsme), ou bien elles ont celles qu'elles possèdent quand elles colorent une matière amorphe (fibres végétales et animales, gélatine, etc.). Le premier cas est

réalisé dans les cristaux des nitrates de plomb, de baryte, des sulfates de chaux, de cuivre, de thallium, dans ceux de morphine, etc., colorés par le bleu de méthylène; le second existe dans le nitrate d'urée ayant absorbé la même substance.

Le mécanisme de la coloration doit être différent dans les deux sortes de cristaux, ce qui est corroboré par le fait que les nitrates de plomb, de baryte, etc., ne se colorent que dans le cas où la solution, saturée de matière colorante, laisse déposer cette dernière, tandis que, pour le nitrate d'urée, il y a partage de la couleur entre le liquide et le cristal, quel que soit le degré de concentration de la couleur.

Mais, dans l'un et l'autre cas, l'absorption de matières étrangères, pendant l'accroissement du cristal, entraîne des modifications dans le développement des faces de ce dernier.

Les cristaux naturels se présentent avec des formes variant avec la nature des gisements. La production de certaines faces est due à la vitesse de formation du cristal, et celle des autres doit être attribuée, dans beaucoup de cas, à l'influence de matières étrangères ayant agi comme les matières colorantes. Depuis plusieurs années, je cherche à déterminer la nature de ces substances qui, étant absorbées régulièrement par le cristal, en voie de formation, lui ont donné un facies particulier. Pour me guider dans mes observations, je continue à étudier les corps artificiels et, dans cette Note, je vais examiner la coloration de l'acide phtalique hydraté sous l'influence de diverses substances dérivées des goudrons de houille. Je rappellerai que les cristaux de cet acide ont déjà été colorés par M. O. Lehmann [1] au moyen de plusieurs matières colorantes (vert de méthyle, violet de méthyle, fuchsine, purpurine, bleu de méthylène, etc.). Ce savant a

---

(1) O. LEHMANN, *Wied. Ann.*, t. LI, 1894, p. 47.

constaté que, presque toujours, les cristaux obtenus étaient polychroïques.

Je vais examiner successivement :

1° Les modifications des formes cristallines sous l'influence de matières étrangères dissoutes dans l'eau mère ;

2° Le polychroïsme ;

3° L'association de deux substances différentes.

1° *Modifications des formes sous l'influence des matières colorantes dissoutes dans l'eau mère.*

L'acide phtalique hydraté $C^6H^4(CO^2H)^2$ donne de beaux cristaux, bien connus depuis les recherches de MM. Muthmann et Ramsay [1]. Ils montrent des formes très variables en relation avec les conditions de cristallisation, à tel point que ces auteurs les ont comparés à ceux de la calcite.

Les cristaux de cette substance sont monocliniques.

$$a:b:c = 0,7084:1:1,3452,$$
$$\beta = 86°21'.$$

MM. Muthmann et Ramsay ont examiné les cristaux obtenus de l'eau, de l'alcool et de l'éther acétique. Dans chacun de ces dissolvants, ils présentent un facies particulier dû au développement et à l'existence de certaines faces en relation avec la température et les conditions de cristallisation.

Ces cristaux présentent les formes

$$p(001),\quad g^1(010),\quad e^1(011),\quad a^4(\bar{1}04),\quad h^3(210),$$
$$(d^1 d^{\frac{1}{3}} h^{\frac{1}{2}})(212),\quad (d^1 d^{\frac{1}{3}} h^{\frac{1}{4}})(214),\quad (b^1 b^{\frac{1}{3}} h^{\frac{1}{2}})(\bar{2}14).$$

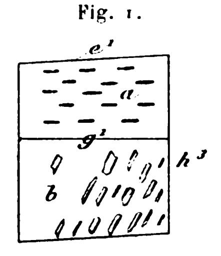
---

(1) W. Muthmann et W. Ramsay, *Zeitsch. f. Kryst.*, t. XVII, 1890, p. 73. — Scheibler (*Ber. d. d. chem. Gesellsch.*, t. I, p. 125) avait antérieurement attribué à l'acide phtalique hydraté la symétrie rhombique.

Ils possèdent un clivage très facile suivant $(d^1 d^{\frac{1}{3}} h^{\frac{1}{2}})$ (212) et, d'après mes observations, il en existe encore un autre parallèle à p ou à e^1, moins net que le précédent, mais pouvant cependant être mis facilement en évidence sur des cristaux minces, aplatis suivant g^1, et en particulier sur ceux qui ont été colorés par le bleu de méthylène ou le bleu de méthyle.

J'ai observé que les cristaux prenant naissance à la surface d'une solution saturée, aplatis suivant le plan de symétrie et plus ou moins allongés suivant l'axe vertical, ne présentent pas les mêmes faces à leurs deux extrémités ou du moins elles ont un développement très inégal Ils paraissent en

Fig. 1.



somme être hémiédriques. Les figures de corrosion, cependant très faciles à obtenir, allongées parallèlement à l'arête $e^1 g^1$, quand elles sont produites par l'alcool et l'éther (*fig.* 1 *a*) et suivant l'arête $(d^1 d^{\frac{1}{3}} h^{\frac{1}{2}}) g^1$ avec l'eau pure (*fig.* 1 *b*) [1], ne décèlent pas cette hémiédrie à cause du défaut de netteté de leur contour; aussi, pour reconnaître la vraie symétrie de la substance, j'ai employé le procédé de Kundt pour déterminer si les cristaux étaient pyroélectriques. L'expérience faite avec du soufre et du minium en poudre sur des cristaux aplatis suivant g^1 et limités par e^1

(1) Toutes les figures ci-jointes représentent seulement la face d'aplatissement g^1 (010).

et $h^{\frac{1}{3}}$, m'a montré que ces corps se portent chacun à une des extrémités de la diagonale joignant les deux angles obtus.

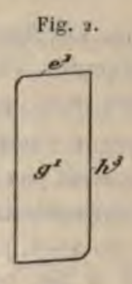
En outre, comme on le verra plus loin, la répartition inégale de la matière colorante vient encore confirmer l'existence de l'hémiédrie des cristaux.

Les cristaux d'acide phtalique sont très biréfringents et le plan des axes est perpendiculaire au plan de symétrie, d'après les observations de MM. Muthmann et Ramsay; en outre, la bissectrice n_g fait un angle de 44°½ dans l'angle obtus avec l'axe vertical c et la face $(d^1 d^{\frac{1}{3}} h^{\frac{1}{2}})$ (212) est presque perpendiculaire à un axe optique.

Les propriétés optiques et les figures de corrosion, qui s'obtiennent très facilement sur les faces g^1 (010) par l'emploi de l'alcool, de l'eau, de l'éther, etc., et qui sont allongées parallèlement à l'arête $g^1 e^1$ ou à $(d^1 d^{\frac{1}{3}} h^{\frac{1}{2}}) g^1$ (eau) (*fig.* 1), permettent d'orienter très facilement les petits cristaux examinés sous le microscope.

Les cristaux que j'ai étudiés ont été préparés, en faisant

Fig. 2.



bouillir pendant quelque temps l'acide phtalique anhydre $\left(C^6H^4\begin{smallmatrix}CO\\CO\end{smallmatrix}O\right)$ du commerce. Par refroidissement de la solution, il se dépose des cristaux aplatis suivant g^1, allongés suivant l'axe vertical c et montrant les faces p (001), h^3 (210),

e^1(**011**) très allongées et très étroites et aussi $(d^1 d^{\frac{1}{3}} h^{\frac{1}{2}})$ (**212**), $(b^1 b^{\frac{1}{3}} h^{\frac{1}{2}})(\bar{2}12)$ en général fort peu développées; aussi, elles ne sont pas représentées sur la figure (*fig.* 2). Sur quelques cristaux, j'ai observé les faces g^3(**120**) légèrement arrondies.

Si l'on ajoute à la solution d'acide phtalique une matière colorante organique artificielle, les cristaux l'absorbent parfois pendant leur accroissement et prennent une belle teinte. Cette absorption de substances étrangères par le cristal est souvent accompagnée de modifications dans les formes de cristaux; mais, comme on l'a vu plus haut, ces dernières sont très sensibles aux conditions de cristallisation; aussi, pour étudier les modifications réellement dues à l'influence des substances étrangères, il faut faire cristalliser les solutions dans des conditions identiques.

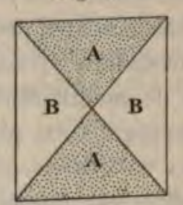
L'acide phtalique est très peu soluble à froid ($\frac{1}{130}$), mais l'eau bouillante en dissout une quantité notable. Les cristaux colorés, qui ont été obtenus, ont été préparés en laissant refroidir assez lentement une solution bouillante saturée. Les vases avaient toujours la même forme, contenaient les mêmes quantités d'eau et d'acide phtalique et le temps de refroidissement était le même.

L'action de quelques matières colorantes va être examinée.

Bleu de méthylène. — Les cristaux de bleu de méthylène sont monocliniques, allongés et polychroïques (bleu et violet). Ceux d'acide phtalique prennent une belle couleur bleue quand la solution contient cette substance colorante. Leur forme est différente de celle des cristaux obtenus d'une eau mère pure; ils sont, en effet, plus aplatis que ces derniers et sont allongés suivant l'arête $e^1 e^1$, c'est-à-dire suivant l'axe b au lieu de l'être suivant l'axe vertical. Les faces e^1, h^3, $(d^1 d^{\frac{1}{3}} h^{\frac{1}{2}})$, $(b^1 b^{\frac{1}{3}} h^{\frac{1}{2}})$ limitent latéralement les cristaux. Tout le

cristal est coloré, mais les parties A (*fig.* 3) dont l'accroissement s'est fait par les faces e^1 sont plus foncées et contiennent plus de bleu de méthylène que les couches B déposées suivant h^3, de telle sorte que ce sont les faces qui absorbent le plus de matière étrangère qui prennent ici le plus grand dévelop-

Fig. 3.



pement (*fig.* 3). Les cristaux étant très minces se clivent si facilement suivant $(d^1 d^{\frac{1}{3}} h^{\frac{1}{2}})$ (212) qu'il est difficile de les conserver intacts.

La quantité de bleu de méthylène et de toutes les matières colorantes employées a une action intense sur la grosseur des cristaux. Plus il y a de substances étrangères en dissolution, plus les cristaux sont petits. Avec certaines matières, ceux-ci ont toujours des dimensions beaucoup plus faibles qu'avec d'autres substances.

La forme des cristaux dépend aussi de la quantité de matière étrangère ; avec beaucoup de bleu les faces $(d^1 d^{\frac{1}{3}} h^{\frac{1}{2}})$ prennent un grand développement, de telle sorte que les lames cristallines aplaties suivant g^1 ont la forme d'un parallélogramme limité latéralement par ces faces et par e^1.

Bleu de méthyle. — La forme des cristaux obtenus est identique à celle qui est donnée par la matière colorante précédente.

Bleu de diphénylamine. — Avec ce corps les résultats sont

tout à fait différents; il se produit de petits cristaux terminés en pointe, groupés parallèlement entre eux de telle sorte que leur ensemble a l'aspect cristallitique. Les cristaux sont moins aplatis, en proportion, que ceux colorés par les deux bleus et montrent les faces e^1 et $(d^1 d^{\frac{1}{3}} h^{\frac{1}{2}})$, g^1 étant peu développé. Leur couleur est très belle et la même que celle de la dissolution.

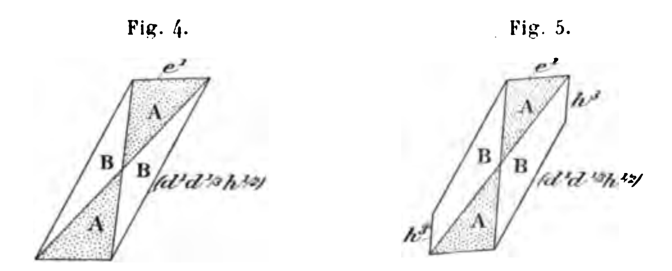
Bleu Victoria. — Les cristaux d'un beau bleu ressemblent aux précédents.

L'*indophénol* ne donne aucun résultat.

Avec l'*induline* on obtient des cristaux violet foncé assez polychroïques.

Vert malachite. — Le vert malachite est très soluble dans l'eau bouillante; par refroidissement, il se dépose des cristaux assez bien formés, mais malheureusement trop petits pour être mesurés au goniomètre. Ils sont monocliniques et aplatis suivant g^1, allongés suivant un axe qu'on peut prendre pour l'axe c et maclés suivant h^1. Leur polychroïsme est intense,

Fig. 4. Fig. 5.



mais plus faible que celui des cristaux de bleu de méthylène. Ils sont violet clair quand l'axe vertical coïncide avec la section principale du nicol et violet foncé, presque opaques, dans la direction perpendiculaire.

Les cristaux d'acide phtalique formés dans une solution contenant du vert malachite en dissolution sont très aplatis suivant g^1 et, en général, très petits. Ils sont complètement colorés en vert, quand ils se produisent rapidement et présentent des secteurs incolores et des secteurs colorés, s'ils prennent lentement naissance (*fig.* 4, 5, 6). Les cristaux

Fig. 6.

montrant la structure en sablier sont différents de ceux obtenus avec le bleu de méthylène ; ils sont, en effet, allongés suivant l'arête (**212**) (**010**) et limités par les faces e^1, $(d^1 d^{\frac{1}{3}} h^{\frac{1}{2}})$, h^3 (*fig.* 4, 5, 6).

Les secteurs colorés correspondent aux faces $e^1 e^1$.

Violet de méthyle. — On obtient de beaux cristaux qui montrent un faciès particulier. Ils sont, en effet, allongés suivant l'arête $(d^1 d^{\frac{1}{3}} h^{\frac{1}{2}})$ g^1 et sont limités sur le pourtour $(d^1 d^{\frac{1}{3}} h^{\frac{1}{2}})$, h^3, $(b^1 b^{\frac{1}{3}} h^{\frac{1}{2}})$; la face p existe parfois, mais elle est très peu développée.

Les cristaux colorés inégalement sur les diverses faces montrent une belle structure en sablier ; comme avec les autres substances, ce sont les faces e^1 qui ont la faculté d'absorber le plus de matière étrangère.

Violet de gentiane. — Les cristaux prennent une belle teinte violette, mais ne présentent rien de particulier.

Vert de méthyle. — Avec cette substance, les cristaux d'acide phtalique sont plus colorés et plus gros qu'avec le vert malachite. Ils se rapprochent cependant de ces derniers par leur forme et montrent souvent la structure en sablier. Ce sont encore les secteurs correspondant à e^1 qui sont le plus colorés.

Comme avec le vert malachite, c'est surtout à froid que l'absorption de la matière colorante par les diverses faces se fait inégalement. Au-dessus de 60° et surtout avec un refroidissement rapide les cristaux sont colorés en apparence d'une façon uniforme.

Le vert de méthyle cristallise et donne de beaux cristaux très polychroïques.

Fuchsine. — Ce corps donne aux cristaux une belle teinte rouge. Ceux-ci sont remarquables par la netteté de leurs faces, planes et très brillantes. Ils sont plus épais que ceux qui sont obtenus avec le bleu de méthylène et peuvent fournir de bonnes mesures goniométriques. Leur forme est celle des cristaux obtenus de l'eau pure, mais ils sont peu allongés suivant l'axe *c*.

Écarlate de Biebrich. — Les cristaux sont colorés faiblement en rouge, très aplatis suivant la face g^1.

Safranine. — Les cristaux d'acide phtalique prennent une belle teinte rouge particulière. Ils forment des lames aplaties suivant g^1 et, en général, dentelées sur un des bords; elles sont, en effet, composées par un grand nombre de cristaux groupés parallèlement. Ces cristaux sont limités à leur extrémité libre par les faces p et $(d^1 d^{\frac{1}{3}} h^{\frac{1}{2}})$.

Rosaniline. — Les cristaux rosés ne présentent rien de particulier, ils sont très aplatis suivant la face g^1 et ressemblent aux cristaux obtenus avec le bleu de méthylène.

Jaune de diphénylamine. — Cette substance donne après ébullition avec l'acide phtalique des cristaux violet foncé avec les faces $(d^1 d^{\frac{1}{3}} h^{\frac{1}{2}})$ très développées.

L'*aurine* donne de beaux cristaux de couleur orange et de même la chrysoïne. Les premiers ont un faciès particulier, ils sont aciculaires et montrent les faces e^1, $(b^1 b^{\frac{1}{3}} h^{\frac{1}{2}})$ et g^1 qui est très peu développée.

Brun Bismarck. — Les cristaux d'acide phtalique prennent une belle coloration et atteignent une certaine grosseur. Ils sont comme ceux obtenus avec le bleu de méthylène.

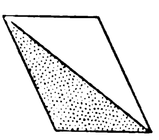
Mélange de deux ou de plusieurs matières colorantes. — Les diverses couleurs, qui peuvent être absorbées quand elles sont seules, se déposent simultanément mais inégalement sur le cristal; mais, en général, les cristaux sont limités par des faces courbes et sont très petits, de telle sorte qu'ils sont indéterminables. Cependant, en ayant soin d'employer une petite quantité de substances colorantes, on peut obtenir de beaux cristaux qui, dans certains cas, fournissent des faits intéressants.

Ainsi des cristaux d'acide phtalique formés dans une solution contenant du vert malachite et de l'écarlate de Biebrich sont aplatis suivant g^1 et limités latéralement par les faces e^1 et $(b^1 b^{\frac{1}{3}} h^{\frac{1}{2}})$, de telle sorte qu'ils ont la forme d'un parallélogramme (*fig.* 7). Les deux parties séparées par la grande diagonale sont colorées d'une façon inégale. L'une est vert clair et l'autre vert foncé. Ce fait ne peut être expliqué que par

l'hémiédrie de la substance. Tous les cristaux obtenus dans cette expérience montrent cette particularité que je ne suis pas arrivé à reproduire avec d'autres matières colorantes.

On voit, en somme, que les cristaux obtenus, en laissant

Fig. 7.



refroidir une solution chaude, peuvent être ramenés à trois types :

1° Ils sont très allongés suivant l'arête e^1e^1 (011) ($0\bar{1}1$) et possèdent les faces h^3 (210) assez développées alors que ($d^1 d^{\frac{1}{3}} h^{\frac{1}{2}}$) (212) et ($b^1 b^{\frac{1}{3}} h^{\frac{1}{2}}$) ($\bar{2}12$) sont à peine visibles;

2° Les cristaux, tout en étant toujours très aplatis suivant le plan de symétrie, sont allongés suivant l'arête (212) ($2\bar{1}2$). Les faces e^1 et h^3 sont, par conséquent, moins développées que dans le cas précédent.

3° Ce sont les faces p et ($\bar{2}12$) et quelquefois p et ($\bar{2}12$) qui prennent le plus grand développement, de telle sorte que les cristaux sont aciculaires.

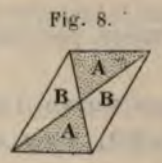
Les lames aplaties obtenues sont alors souvent formées d'un grand nombre de cristaux groupés, ayant parfois l'aspect cristallitique ou bien formant une lame à bords dentelés.

Cristaux formés dans l'alcool. — MM. Muthmann et Ramsay ont observé que les cristaux d'acide phtalique obtenus de l'alcool étaient différents de ceux obtenus de l'eau. Il était intéressant d'examiner si l'absorption des matières colorantes avait encore une action sur le développement des faces.

La cristallisation a été faite à la température ordinaire. Dans ce cas, avec l'alcool pur, les cristaux, allongés suivant l'axe vertical, présentent les faces $h^3(\mathbf{210})$ $e^1(\mathbf{011})$ et $(b^1 b^{\frac{1}{3}} h^{\frac{1}{2}})(\bar{\mathbf{2}}\mathbf{12})$, de telle sorte qu'ils sont prismatiques par suite de l'importance des faces h^3.

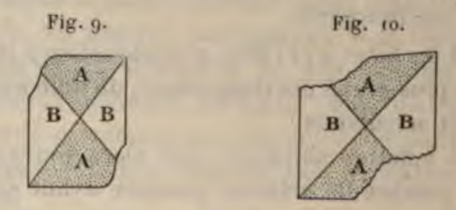
Avec du bleu de méthylène, ces cristaux sont aplatis suivant $g^1(\mathbf{010})$ et limités latéralement par e^1 et $(d^1 d^{\frac{1}{3}} h^{\frac{1}{2}})(\mathbf{212})$. Les secteurs correspondant à e^1 (*fig.* 8 A) sont seuls colorés, les deux autres B le sont à peine ou pas du tout. Quand la cris-

Fig. 8.



tallisation se fait sur une lame de verre, l'alcool, absorbant l'humidité de l'air, s'enrichit en eau et alors les mêmes faces ne sont plus stables, h^3 tend à se développer et il en

Fig. 9. Fig. 10.



résulte des faces plus ou moins arrondies (*fig.* 9 et 10) dont l'origine est tout à fait différente de celles qui sont produites par les courants de concentration; elles sont, en effet, la résultante de plusieurs faces tendant à se développer simultanément.

Avec le violet de méthyle, on obtient des cristaux identiques aux précédents, en opérant sur une lame de verre;

mais, dans une cristallisation, j'ai obtenu des cristaux aplatis suivant la face *p* et limités par g^1 (010), (212) et ($2\bar{1}2$). Les secteurs relatifs aux faces g^1 présentent une belle coloration violette, alors que ceux qui correspondent aux autres faces sont presque incolores.

Des observations qui précèdent, on peut conclure que l'absorption régulière de matières étrangères par le cristal entraîne presque toujours des modifications dans les formes de ce dernier. Ce fait est facile à mettre en évidence par l'emploi de matières colorantes. Mais on connaît des substances dont le développement des faces est influencé par la présence de matières incolores ajoutées à l'eau mère; tel est le cas du chlorure de sodium qui, cristallisant en cubes dans l'eau mère pure, prend la forme octaédrique si la solution contient de l'urée. On est amené à se demander de quelle façon agit ici l'urée et M. St. Berent a mesuré les constantes d'adhésion entre les faces a^1 et *p* et l'eau mère pure ou additionnée d'urée pour vérifier la théorie de M. Curie sur la production des faces des cristaux. D'après mes observations, il y a probablement syncristallisation de l'urée ou plutôt du composé, sel et urée ($COAz^2H^4 + NaCl + H^2O$). En effet, pour que les cristaux octaédriques de NaCl se produisent, il faut que la solution contienne une quantité d'urée telle que les cristaux de ($COAz^2H^4 + NaCl + H^2O$) se déposent.

Comme on le verra plus loin, la quantité de matière passant dans le cristal est très faible, aussi on est étonné de voir que l'absorption soit suivie de modifications des formes cristallines. Il était intéressant de voir s'il n'y avait pas de changement dans la valeur des angles dièdres. Les cristaux absorbant une certaine quantité de matière étrangère présentent souvent des angles arrondis ou du moins des faces irrégulières : tel est le cas du nitrate d'urée, lorsqu'il absorbe beaucoup de bleu de méthylène ($\frac{1}{160}$).

Les cristaux d'acide phtalique mesurés m'ont donné les résultats suivants :

	$e^1e^1 = (011)(0\bar{1}1)$.	Muthmann.	Ramsay.
Cristaux incolores...	106°.42′	106°30′	106°38′
Bleu de méthylène..	106.48		
Violet de méthyle..	106.45		
Bleu de méthyle....	106.50		
Safranine..........	106.44		
Brun Bismarck.....	106.43		
Fuchsine...........	106.41		

Beaucoup de cristaux présentent des faces vicinales sur les faces e^1, et la valeur des angles se trouve ainsi augmentée, aussi les nombres ci-dessus ne représentent pas des moyennes, mais bien la valeur des angles dont les faces m'ont paru être les plus parfaites.

Les angles d'un des clivages ($d^1 d^{\frac{1}{3}} h^{\frac{1}{2}}$), avec g^1, m'ont fourni les nombres suivants pour les valeurs de l'angle ($d^1 d^{\frac{1}{3}} h^{\frac{1}{2}}$) ($d^1 d^{\frac{1}{3}} h^{\frac{1}{2}}$) (212) ($2\bar{1}2$) :

	(212) ($2\bar{1}2$).	Muthmann.	Ramsay.
Cristaux incolores....	33°.57′	33°52′	33°56′
Bleu de méthylène...	33.55		
Violet de méthyle....	33.58		
Bleu de méthyle.....	33.59		
Safranine...........	33.52		
Brun Bismarck	33.50		
Fuchsine............	33.57		

Ces résultats montrent plus de concordance dans les différents cristaux que ceux obtenus avec les angles e^1e^1. La valeur de ces derniers est souvent faussée par des faces vicinales, dont l'existence est difficile à constater.

En somme, les différences observées dans les cristaux di-

versement colorés sont de même grandeur que celles qui sont données par les cristaux incolores, aussi, on peut en conclure que la valeur des angles n'est pas modifiée par les matières étrangères.

2° *Polychroïsme.*

Le polychroïsme, déjà constaté par M. O. Lehmann, est très énergique et l'absorption maximum, comme on le verra par l'examen du Tableau donné plus loin, a toujours lieu suivant le plus grand indice de réfraction. En outre, l'intensité du polychroïsme varie avec chaque couleur. Ainsi les cristaux, colorés par le vert malachite, sont moins polychroïques que ceux qui le sont avec du vert de méthyle. Le maximum du polychroïsme est présenté par les cristaux contenant du bleu de méthylène.

Dans les cristaux assez minces, la coloration suivant n_g est la même que celle que possède une solution de la matière colorante. Suivant n_m ou dans toutes les positions intermédiaires, la couleur est la même, mais elle est plus faible, absolument comme si on l'avait diluée. Pour comparer l'intensité du polychroïsme, on peut prendre des cristaux ayant une épaisseur telle qu'ils soient à peu près incolores suivant n_m et examiner les teintes données par chaque substance suivant n_g.

	n_g.	n_m.
Bleu de méthylène........	Bleu foncé	Bleu pâle ou incolore
Bleu de méthyle..........	Bleu	Bleu pâle »
Bleu de diphénylamine....	Bleu	Bleu clair »
Fuchsine.................	Rouge	Rouge clair »
Rosaniline.....	Rose	Rose clair »
Safranine.................	Rouge	Rouge clair »
Ecarlate de Biebrich......	Rouge	Rouge clair »
Vert malachite	Vert	Vert un peu plus pâle
Vert de méthyle..........	Vert	Vert pâle ou incolore

	n_g.	n_m.
Violet de méthyle........	Violet	Violet clair ou incolore
Brun Bismarck...........	Brun rouge	Brun clair »
Aurine....................	Orange	Jaune clair »
Chrysoïne................	Jaune	Jaune clair »
Jaune diphénylamine.....	Violet	Violet clair »

3° *Absorption de la matière colorante.*

Les nitrates de plomb, de baryte, de strontiane, les sulfates de chaux, de cuivre, de thallium, la morphine, etc. ne se colorent que dans les cas où, les solutions étant saturées, il se dépose des cristaux de bleu de méthylène. Avec le nitrate d'urée il n'en est pas de même et il s'établit entre les cristaux de ce corps et le liquide un partage; mais, comme les molécules de bleu sont complètement immobilisées dans le cristal, qu'elles n'interviennent pas dans les conditions d'équilibre, le liquide s'appauvrit continuellement en matière colorante, et peut même se décolorer complètement si la quantité de bleu n'est pas en excès. Il en est de même avec les cristaux d'acide phtalique. Par conséquent le mécanisme de la coloration du nitrate de plomb et de celle du nitrate d'urée et d'acide phtalique est absolument différent. Dans le premier cas, il s'agit d'une véritable syncristallisation et, dans le second, d'une solution, pour ainsi dire, de la matière colorante dans le cristal, et c'est à ce phénomène que le terme de *solution solide* proposé par M. Van't Hoff conviendrait.

J'ai déterminé la quantité de substance colorante qui peut passer dans un cristal dans le cas où la solution étant toujours saturée la cristallisation était faite par refroidissement du liquide bouillant.

Les mesures ont été faites de la manière suivante : la coloration de la solution de 5^g de cristaux d'acide phtalique, dissous dans 1^l d'eau, a été comparée à celle d'une solution au $\frac{1}{10000}$ de la matière colorante. Le procédé est suffisam-

ment exact si l'on a soin de choisir des cristaux aussi homogènes que possible et dépourvus d'inclusions. Les résultats sont les suivants :

Violet de méthyle	$\frac{1}{200}$
Bleu de méthylène	$\frac{1}{176}$
Safranine	$\frac{1}{180}$
Brun Bismarck	$\frac{1}{220}$

Ces nombres sont tous du même ordre de grandeur et il est à remarquer qu'ils sont plus élevés que le coefficient de solubilité de ces substances dans l'eau.

On a vu plus haut que les secteurs se coloraient d'une façon plus ou moins inégale, suivant les conditions de cristallisation. Dans de gros cristaux ($1^{cm} \times 2^{cm}$) colorés par du bleu de méthylène, j'ai pris des parties dans chaque catégorie de secteurs et j'ai trouvé que celles (A) (*fig.* 3) qui correspondent aux faces e^1 contiennent trois fois plus de bleu que les moins colorées (B). Ce rapport doit évidemment changer d'une cristallisation à l'autre. Avec certains cristaux obtenus de l'alcool il peut même être très grand, et il est, au contraire, beaucoup plus petit avec ceux obtenus par refroidissement de 100° à 60° d'une solution aqueuse.

A cause de l'inégale coloration des différents secteurs, il n'est pas facile d'étudier, avec l'acide phtalique, le partage entre les cristaux et le dissolvant, de la matière colorante dissoute, aussi je me suis servi, pour résoudre cette question, du nitrate d'urée ; je donnerai plus tard les résultats de mes expériences.

Les propriétés physiques des cristaux d'acide phtalique colorés ne sont pas différentes de la substance incolore. Ainsi la densité, qui est de 1,555 à 15°, ne change pas d'une façon appréciable comme on peut s'en convaincre en plongeant les cristaux diversement colorés dans un mélange convenable de tétrabromure d'acétylène et de benzine.

Le point de fusion ne varie pas davantage. Pour le vérifier, j'ai placé à une petite distance les uns des autres, sur une lame porte-objet, des fragments très minces de cristaux colorés et purs et j'ai observé le moment où la fusion commence à se produire, quand on chauffe la lame sur le microscope renversé de M. Wyrouboff. Tous les morceaux fondent presque simultanément.

La quantité de matière étrangère ne dépassant pas de beaucoup $\frac{1}{200}$ est probablement trop faible pour influencer d'une façon appréciable la densité et le point de fusion, aussi il serait très intéressant de trouver des corps ayant une capacité d'absorption plus grande que celle de l'acide phtalique.

Il résulte de ce travail quelques faits nouveaux que je vais rappeler brièvement :

1° L'acide phtalique hydraté est hémièdre, le fait est démontré par la coloration inégale des cristaux par rapport à un plan perpendiculaire au plan de symétrie ;

2° L'absorption de la matière colorante par les cristaux en voie de formation a une certaine action sur la production et le développement de leurs faces ;

3° Les cristaux d'acide phtalique colorés artificiellement sont très polychroïques (O. Lehmann). L'absorption maximum se fait suivant le plus grand indice de réfraction. L'intensité du polychroïsme varie avec chaque couleur;

4° La quantité de matière absorbée est à peu près la même pour le bleu de méthylène, le violet de méthyle, le brun Bismarck, la safranine; elle est plus élevée à chaud qu'à froid.

Les figures de pression et de percussion sur les métaux plastiques cristallisés;

Par MM. F. Osmond et G. Cartaud.

On sait que si l'on attaque, avec un burin d'acier, soit par choc, soit par pression, les corps cristallisés fragiles, on obtient des figures dites de percussion ou de décollement dirigées suivant certains plans de facile séparation et dont l'allure est toujours conforme à la symétrie du cristal (1).

Si l'on a affaire à des cristaux transparents, les figures de pression peuvent aussi être étudiées par les méthodes optiques (2).

Sur la surface, préalablement polie et débarrassée de toute peau écrouie, des métaux plastiques, on obtient par le même procédé des figures de déformation également intéressantes.

Il suffit d'appuyer sur le métal, par choc ou statiquement, la pointe d'une aiguille à coudre. Si, ce qui arrive souvent, cette pointe n'est pas suffisamment trempée et se déforme à l'usage, on la casse et on la refait dans une partie plus dure en frottant l'extrémité cassée, maintenue en rotation continuelle, contre du papier d'émeri très fin. Dans les limites de nos expériences, nous avons trouvé que le choc et la pression statique donnaient les mêmes résultats (3). C'est donc la

(1) De Lapparent, *Cours de Minéralogie*, Masson, Paris, 1899, p. 283.

(2) Gaubert, *Sur les bandes biréfringentes provoquées par la pression avec rupture des faces sur les cristaux cubiques* (*Bull. Soc. Minér.*, t. XXV, juin 1902, p. 154).

(3) Dans nos essais par choc, nous frappions simplement la tête de l'aiguille d'un petit coup d'un léger marteau. Les résultats pourraient être et seraient probablement différents, surtout avec le fer, pour de grandes vitesses d'impact, seules capables de déterminer la formation de lamelles

pression statique, beaucoup plus facile à régler, que nous avons employée exclusivement dans nos essais définitifs.

La tête de l'aiguille est appuyée contre un levier horizontal, articulé à une de ses extrémités et que l'on peut charger à l'autre extrémité de poids connus. Sa tige est guidée jusqu'au voisinage de la pointe pour empêcher les flexions et les ruptures qui en seraient la conséquence.

Les figures obtenues sont examinées au microscope. Elles sont composées de groupes de lignes ordinairement courbes sur le fer et droites sur les autres métaux du système cubique qui possèdent, comme l'ont montré M. Mügge, d'une part, et MM. Ewing et Rosenhain, de l'autre, ce qu'on appelle des *plans de translation* (¹).

Nos premières recherches détaillées ont porté sur le fer, que nous possédions en beaux cristaux faciles à tailler suivant des plans cristallographiques. La charge sur l'aiguille a été régulièrement de 1600g (chiffre arrondi).

Pour décrire nos résultats, imaginons un cristal cubique de clivage sur lequel ont été pratiquées des troncatures b^1, b^2, a^1, a^2, $a^{\frac{1}{2}}$. Projetons ce cube sur une de ses faces et rabattons les troncatures, convenablement situées, sur le plan du tableau. On obtient ainsi la figure 1, où les côtés du carré primitif ont disparu et où la face du cube (face p) est actuellement représentée par le carré ACFH dont les côtés sont parallèles aux diagonales de la face tronquée.

Sur cette face p on a, autour de l'empreinte de la pointe

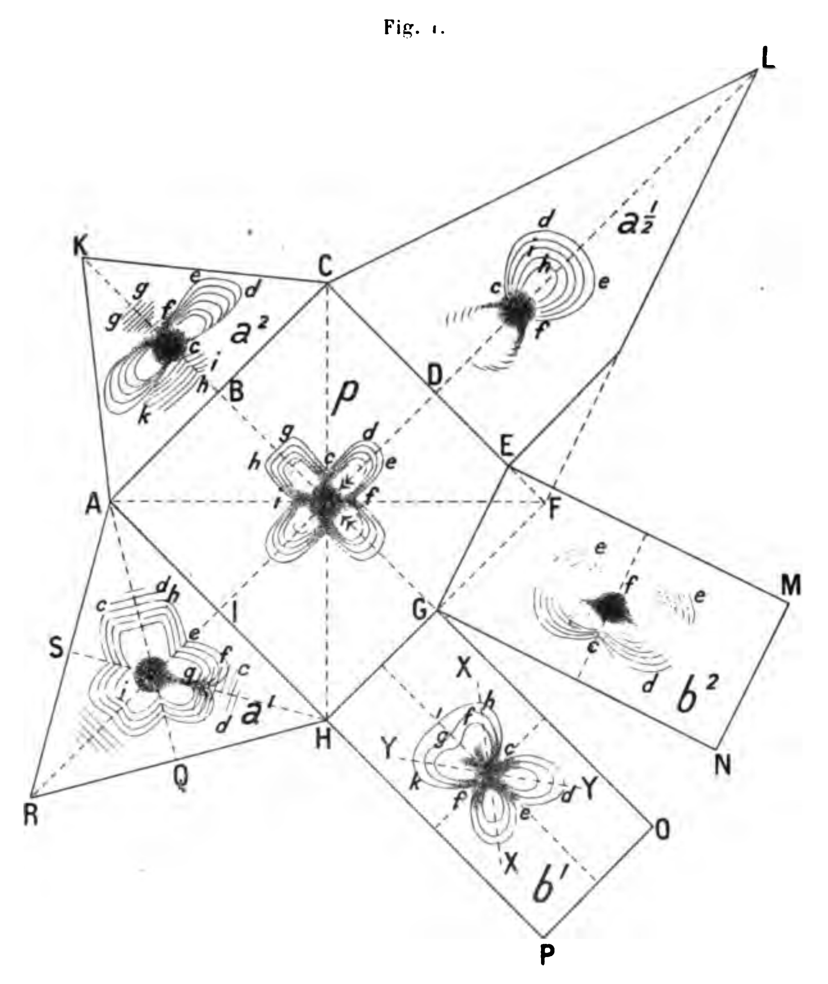
---

de Neumann. Mais la réalisation expérimentale des conditions voulues ne semble pas facile, en raison de la fragilité de l'aiguille et du peu de force vive nécessaire.

(¹) O. Mügge, *Ueber neue Structur flächen in den Krystallen der gediegenen Metall* (*Neues Jahrb. f. Miner.*, 1899, t. II, p. 55-71). — Ewing et Rosenhain, *The crystalline structure of metals* (*Phil. Trans.* (A), t. CXCIII, 1899, p. 353-375).

comme centre, une croix dont les branches, parallèles aux

Fig. 1.



diagonales du carré primitif, sont formées de plissements *cdef* s'enveloppant les uns les autres. Les parties *cd, ef* sont à peu près parallèles aux diagonales ID ou BG et se raccordent par

un arc approximativement demi-circulaire. Dans les régions de la surface où se trouvaient des lamelles de Neumann, lesquelles dirigent les déformations, cet arc peut être remplacé par une droite *gh*, parallèle à une diagonale du carré et raccordée par de petits arcs aux droites *hi*, *gc*. La figure a quatre axes de symétrie respectivement parallèles aux côtés et aux diagonales du carré.

Sur troncature b^1, la figure est encore une croix, mais dont les branches XX, YY ne sont plus rectangulaires. Les angles aigus XOY sont tournés vers l'intersection HG de la troncature avec la face du cube qui lui est perpendiculaire. Les branches sont formées de plissements *cde*, grossièrement elliptiques, qui s'enveloppent les uns les autres. Le plus souvent, ces plissements, au lieu de se fermer, se soudent sur la bissectrice des angles aigus soit après inflexion, comme on l'a figuré en *fg*, soit sans inflexion suivant *kih*; il y a deux axes de symétrie, respectivement parallèles aux côtés du rectangle HGOP.

Sur troncature b^2, la figure est analogue, mais il n'y a plus qu'un axe de symétrie parallèle aux côtés GE, MN du rectangle. Les deux bras *ef*, tournés du côté de la face du cube qui forme avec la troncature le dièdre le plus obtus, sont atrophiés, c'est-à-dire formés de plissements moins nets et moins développés que les autres.

Sur troncature a^1, la figure est complexe et délicate. Elle comporte trois axes de symétrie respectivement perpendiculaires aux trois côtés du triangle équilatéral ABH. Sur chacun de ces axes, on peut trouver : 1° des lignes *cd*, à peu près droites, situées entre le centre et un sommet du triangle et parallèles au côté opposé à ce sommet ; 2° des lignes courbes *ef* qui se détachent en *e* d'un des axes de symétrie, entre le centre et le côté du triangle normal à l'axe considéré ; ces lignes *ef* ont à l'origine l'aspect de spirales ; elles se recour-

bent souvent suivant *fg* contre l'axe de symétrie adjacent, mais elles peuvent aussi se souder comme en *h*, aux droites *cd*, ou encore à leurs voisines, comme en *i*, avec inflexion. La figure n'est jamais complète sur une empreinte isolée. Pour la compléter et la bien comprendre, il faut considérer plusieurs empreintes de la même face.

Sur troncature a^2, il ne reste qu'un axe de symétrie KB perpendiculaire à la base AC du triangle isoscèle. La figure représente assez bien un papillon étalé dont les ailes *cdef* sont ouvertes normalement à l'axe de symétrie; le corps, placé à l'opposé de la base, est composé de stries *gg* également perpendiculaires à l'axe. De l'autre côté du centre, des antennes *hi* se détachent de l'axe et peuvent s'allonger jusqu'à rejoindre les ailes, comme il est figuré en *hk*.

Sur troncature $a^{\frac{1}{2}}$, on n'a également qu'un axe de symétrie LD, encore perpendiculaire sur la base CF du triangle isoscèle CLF. La figure rappelle celle que l'on obtient sur face b^1, mais les deux nappes sont inégalement nettes et développées; la plus accentuée *cdef* est tournée du côté du sommet L du triangle.

En résumé, abstraction faite des petites variantes secondaires que nous avons décrites à l'occasion et dont nous ignorons présentement la signification, les figures de pression sont caractéristiques de l'orientation cristallographique d'une face donnée avec une approximation évidemment médiocre, mais supérieure à celle que pourraient fournir les figures de corrosion. Elles dépendent donc de la symétrie du cristal et de sa structure intime.

Elles peuvent servir de base à une méthode générale d'investigation permettant d'aborder notamment les problèmes suivants :

1° Différencier deux variétés allotropiques d'un même corps ;

2° Orienter cristallographiquement une coupe d'orientation inconnue. Cette donnée peut avoir une certaine utilité pratique. On sait en effet que la fragilité du fer et des aciers doux est généralement liée à l'existence du clivage cubique, et l'existence de ce clivage est d'autant plus dangereuse que les grains sont plus gros et mieux groupés en agglomérations d'orientations voisines. D'autre part, il résulte des travaux de M. Stead (¹) que le laminage, dans certaines conditions restées complètement obscures et qui n'ont pas été reproduites à volonté, peut orienter la cristallisation du fer et lui donner ainsi une fragilité extrême dans certaines directions. Des recherches sur ce sujet seraient intéressantes ;

3° Savoir si un métal est bien ou mal cristallisé;

4° Obtenir des renseignements sur les processus de la déformation des cristaux plastiques.

Si, par exemple, on plie autour d'un axe quaternaire une bande découpée dans un cristal de fer parallèlement aux faces du cube, qu'on plane à la lime la surface gauchie, qu'on la polisse et qu'on fasse des piqûres à l'aiguille, la croix caractéristique devra rester parallèle à elle-même dans toute l'étendue du cristal plié si la déformation s'est faite par glissements simples le long de plans cristallographiques. Ce n'est pas ce que l'on constate : la croix pivote en fonction de l'angle de pliage. Cette expérience avait déjà été faite sous une forme un peu différente par M. Stead, qui utilisait les figures de corrosion et les résultats avaient conduit à la même conclusion (²).

Nous avons encore appliqué notre méthode à l'examen d'une coupe pratiquée parallèlement à une face p primitive de la région contractée d'une éprouvette de traction. Le dia-

---

(¹) *Journal of the Iron and Steel Inst.*, année 1898, part II, p. 137.
(²) Communication personnelle de l'auteur.

mètre primitif de l'éprouvette étant de 10^{mm}, on retrouvait la croix normale, mais de dimensions réduites en raison de l'écrouissage, dans les parties les moins étirées; plus loin, le diamètre étant réduit à 5^{mm},6, la figure devenait à peu près celle d'une face a^2. Tout près de la surface de rupture, le diamètre étant réduit à 3^{mm},5, dans une partie recoupée de franges, la figure de pression ne présentait plus aucun caractère spécifique et était réduite à fort peu de chose, quelques lignes rares et courtes changeant de direction au passage d'une frange. Il paraît résulter de là que le fer suffisamment déformé tend à devenir amorphe. Mais cette question sera discutée plus longuement dans un travail ultérieur.

Sur le polymorphisme et l'isomorphisme des azotates alcalins;

Par M. Fred. Wallerant.

Dans le domaine de la cristallographie, il est certainement peu de sujets aussi intéressants que celui faisant l'objet de ce travail. Par la variété dans la nature des faits observés, par la diversité des questions soulevées, l'étude de l'isomorphisme et du polymorphisme des azotates alcalins se présente sans contredit comme un des chapitres les plus instructifs de la cristallographie. On est amené tout d'abord à déterminer, autant que faire se peut, la forme primitive des différentes modifications de chaque azotate; contrairement à ce que l'on pense habituellement, la détermination de la forme primitive est un des problèmes les plus complexes, dont la solution ne peut être obtenue qu'en faisant

appel à toutes les propriétés du corps cristallisé; pour atteindre ce but, nous nous sommes surtout servi des macles secondaires que les actions mécaniques déterminent dans presque toutes les modifications des différents azotates. Quand on constate avec quelle facilité ces macles se produisent, on est vraiment étonné qu'elles aient pu échapper jusqu'ici. D'après la théorie que nous avons donnée de ces macles et de leur relation avec les différentes modifications d'un même corps, il faut s'attendre à les rencontrer dans tous les corps à polymorphisme direct, qui se trouvent dans des conditions de température et de pression voisines de la température et de la pression de transformation.

Mais l'intérêt des azotates alcalins découle de ce fait qu'ils sont polymorphes et qu'ils peuvent se mélanger en proportions variables pour cristalliser; ces mélanges sont eux-mêmes polymorphes et présentent des particularités telles que les notions d'isomorphisme et d'isopolymorphisme, au sens habituel de ces mots, sont trop restreintes pour les expliquer et demandent par suite à être généralisées. On admet *a priori* que des substances appartenant à des systèmes différents ne peuvent se mélanger pour cristalliser, et qu'il ne peut y avoir passage graduel d'un système à un autre. Cette opinion se comprenait parfaitement quand on admettait que la particule complexe se composait d'une seule molécule chimique, dont la symétrie ne pouvait évidemment se modifier d'une façon graduelle. Mais aujourd'hui que l'on admet que la particule complexe doit sa symétrie à sa structure, à la disposition des molécules qui la composent, rien ne peut inciter à croire que cette symétrie ne puisse se modifier graduellement. Il serait d'ailleurs bien étonnant que la symétrie soit la seule propriété des mélanges isomorphes qui ne soit pas susceptible de varier d'une façon continue; il suffit, pour que la chose soit possible, que les

particules complexes des deux corps contiennent le même nombre de molécules, ayant le même mode de répartition, de façon que, par de simples variations d'angles, on puisse passer de la répartition dans l'une des particules à la répartition dans l'autre; si, par exemple, un plan de symétrie de la particule de l'un des corps est remplacé par un plan diamétral dans la particule de l'autre corps, on conçoit qu'à mesure que les molécules du premier se substitueront à celles de ce dernier la direction conjuguée se rapprochera de plus en plus de la perpendiculaire et le plan diamétral d'un plan de symétrie.

D'autre part, si les particules complexes des deux corps ne renferment pas le même nombre de molécules, ou bien si ces molécules sont réparties de telle façon que l'on ne puisse passer de l'un des modes de répartition à l'autre par modification graduelle, il est évident que, si l'on fait cristalliser leurs mélanges, en partant successivement de chacun des corps, on aura deux séries indépendantes, ne convergeant pas l'une vers l'autre. On ramène ce cas à l'isomorphisme proprement dit en admettant que les deux corps sont dimorphes, mais que la modification de l'un, se mélangeant à la modification stable de l'autre, est elle-même instable. Cette interprétation des faits paraît bien être exacte, mais là où l'on paraît avoir trop restreint cette notion de l'isodimorphisme c'est en admettant implicitement que l'une des modifications doit être stable pour que le mélange lui-même le soit : comme on le verra dans la suite, assez fréquemment le mélange cristallisé de deux modifications instables est stable et l'on a non pas deux, mais trois ou plusieurs séries de cristaux mixtes.

A un autre point de vue, les azotates alcalins sont particulièrement intéressants en ce sens que leurs mélanges peuvent être obtenus de deux façons différentes : par disso-

lution et concentration d'une part, et par fusion ignée de l'autre. Or, contrairement à ce que l'on accepte implicitement, ces deux méthodes ne donnent pas le même résultat. Dans plusieurs cas, en effet, tandis qu'en dissolution la série des mélanges présente une lacune, celle-ci fait défaut dans la série des mélanges obtenus par voie ignée; bien plus, on obtient par cette dernière méthode des modifications cristallines qui ne se produisent pas en dissolution parce qu'elles sont moins stables que d'autres. Autrement dit, si, en théorie, tout le monde est d'avis que les propriétés des mélanges isomorphes sont sous la dépendance des conditions dans lesquelles s'effectuent la cristallisation, il n'en est pas moins vrai que, dans la pratique, on est tenté de l'oublier et de généraliser des résultats obtenus dans des conditions spéciales.

Enfin, on sait que Van't Hoff a été amené à considérer les mélanges isomorphes comme constitués par la dissolution de l'un des corps dans l'autre, autrement dit, comme une solution solide. Cette hypothèse a soulevé de nombreuses controverses, et l'on a fait remarquer, en particulier, qu'une des propriétés caractéristiques des solutions, la diffusion, n'existait pas dans les mélanges isomorphes. On a cité, il est vrai, la diffusion du carbone dans les métaux, mais il n'est pas possible de savoir dans quelles conditions le carbone se trouve dans le corps cristallisé; s'y trouve-t-il à l'état d'impureté, ou fait-il partie de l'édifice cristallin? En outre, on a fait remarquer que, dans les roches éruptives, il existait de nombreux minéraux formés de zones concentriques, constituées par le mélange, en proportions variables, de deux substances isomorphes. Or, ces minéraux sont restés bien longtemps à une température voisine de leur température de formation, les zones auraient donc dû disparaître et la composition devenir homogène, si les cristaux avaient été le théâtre de diffusion. Comme on le verra dans la suite, au

moment où une transformation polymorphique vient de se produire, les molécules paraissent jouir d'une mobilité toute particulière, que l'on peut, jusqu'à un certain point, comparer à l'état particulier des molécules sortant d'une combinaison, à l'état naissant. Si, par exemple, on mélange par fusion deux corps ne cristallisant pas ensemble, on obtient un conglomérat de deux espèces de cristaux, mais si, par abaissement de température, il se produit une transformation polymorphique donnant naissance à deux modifications isomorphes, on pourra voir se produire dans la masse des mouvements vermiculaires et se former des cristaux homogènes aux dépens du conglomérat; dans ce cas il y a donc diffusion; mais, la diffusion se produisant au moment de la destruction de l'édifice cristallin, on peut dire qu'elle a lieu en milieu solide et non en milieu cristallisé, et nous arriverions à cette conclusion que la diffusion peut se produire entre certains corps et dans certaines conditions, sans que l'on puisse en tirer un argument en faveur de la conception de Van't Hoff.

Il est maintenant nécessaire de passer en revue les différents azotates pour préciser leurs caractères cristallographiques. Mais, bien entendu, on ne parlera que des faits nouveaux ou des faits qu'il est important de rappeler pour la suite.

Azotates alcalins.

Azotate d'ammonium. — Depuis Frankenheim, le polymorphisme de ce corps a été l'objet de nombreuses recherches, principalement de la part de Lehmann et Wyrouboff, Bellati et Romanese, et enfin Tammann. Pour étudier les différentes modifications de ce corps on peut employer la méthode de M. Lehmann, consistant à faire cristalliser sous le microscope une dissolution chaude; à mesure que la température

baisse, on voit apparaitre successivement toutes les modifications avec leurs formes cristallines. Mais celles-ci ne peuvent être étudiées parce que les cristaux sont trop petits et qu'en outre on ne peut, pendant l'étude, les maintenir à la température où ils sont stables. Une autre méthode consiste à fondre un grain d'azotate sur une lame porte-objet, à chauffer suffisamment pour chasser toute l'eau et à couvrir d'une lamelle de verre; dans ce cas, les cristaux affectent une forme quelconque; il n'y a plus de forme cristalline; mais, par contre, on peut faire une étude optique complète. L'azotate d'ammoniaque se prend en cristaux cubiques, isotropes, qui, par refroidissement, se transforment en cristaux de biréfringence analogue à celle du quartz; la transformation, partant d'un point de la préparation, se propage de proche en proche à travers toute la préparation avec une grande vitesse.

Pour M. Lehmann, cette modification uniaxe était ternaire; par comparaison avec l'azotate d'argent, M. Wyrouboff a été amené à la considérer comme quaternaire. Son étude est facilitée par ce fait, sur lequel on reviendra plus tard, qu'une faible quantité d'azotate de thallium ou d'azotate de cæsium la rend stable à la température ordinaire; mais, d'ailleurs, le phénomène de la surfusion se produit assez facilement pour que l'on puisse l'étudier sans avoir recours à cette propriété. Si on la comprime, on constate que des macles secondaires se produisent avec la plus grande facilité; sur une section perpendiculaire à l'axe optique, on détermine en apparence la formation de deux systèmes de lamelles hémitropes, perpendiculaires l'un sur l'autre. Mais, si la section est légèrement oblique sur l'axe optique, on s'aperçoit alors que chaque système se compose en réalité de deux séries de lamelles dont les traces seules sont parallèles sur la section normale et qui font sur la section oblique un angle très aigu;

autrement dit, l'action mécanique a déterminé la formation de quatre systèmes de lamelles hémitropes dont les traces sont parallèles et perpendiculaires deux à deux; ce sont des macles dodécaédriques. Les cristaux sont donc bien quadratiques et non ternaires; au point de vue optique, ils sont positifs.

A la température de 82°, ils se transforment à leur tour en cristaux de biréfringence plus élevée, considérés comme orthorhombiques par M. Lehmann. Si, en effet, on les fait cristalliser par voie aqueuse, on obtient des prismes allongés, dont les faces latérales sont à peu près perpendiculaires, et terminés soit par une pyramide, soit par un dôme à peu près droit également. Ces prismes s'orientent sur les cristaux quadratiques de façon que l'axe d'allongement soit parallèle à un axe binaire de ce dernier, et que l'une des diagonales de base soit parallèle à l'axe quaternaire. Malheureusement, M. Lehmann n'a pu déterminer les rapports de ces prismes avec l'ellipsoïde optique.

Quand elle est obtenue par fusion, cette modification peut être rendue stable à la température ordinaire par l'adjonction d'une petite quantité d'azotate de potasse, et se prête alors aux recherches; si l'on comprime, au moyen de la pointe d'un scalpel, une section perpendiculaire à la bissectrice aiguë de l'angle des axes optiques, on détermine trois systèmes de lamelles hémitropes. Les lamelles de deux des systèmes sont à peu près perpendiculaires et le plan des axes optiques est parallèle au plan bissecteur du dièdre obtus, tandis que le troisième système de lamelles est parallèle au plan bissecteur du dièdre aigu : il faut donc admettre que les cristaux sont monocliniques quasi-quadratiques; deux des macles étant des macles hexaédriques et la troisième, dont le plan serait h^1, une macle dodécaédrique.

A 32°, comme on le sait, la modification monoclinique se

transforme en la modification stable à la température ordinaire : la transformation débute en un grand nombre de points par l'apparition de petits cristaux, présentant souvent des formes cristallines et grandissant aux dépens des cristaux monocliniques. Les nouveaux cristaux sont vacuolaires et troublés par suite de la forte contraction qui se produit lors de la transformation.

Les cristaux de cette modification ont pu être étudiés macroscopiquement et l'on a pu, tout au moins approximativement, déterminer leurs constantes physiques. Pour pouvoir comparer ces cristaux avec ceux de l'azotate de potasse, on a adopté pour valeur des paramètres les nombres

$$0,5834 : 1 : 0,736,$$

l'axe vertical étant perpendiculaire sur le plan des axes optiques, et les deux autres coïncidant avec les bissectrices des angles de ces axes. Les faces les plus fréquentes sont celles de deux dômes et sont respectivement parallèles aux axes horizontaux; leurs caractéristiques sont (**032**) et (**304**).

Or, en appuyant sur une section parallèle au plan des axes optiques, on fait naître quatre systèmes de lamelles hémitropes, dont les traces sont deux à deux parallèles et deux à deux perpendiculaires, autrement dit ces macles sont orientées comme les macles suivant les quatre plans b^1 dans un cristal quadratique; ce sont des macles dodécaédriques. On est donc amené à considérer ces cristaux comme orthorhombiques quasi-quadratiques, l'axe vertical étant l'axe quasi-quadratique. Et, en effet, si l'on multiplie le premier paramètre par 2, on obtient pour paramètres du cristal,

$$1,1668 : 1 : 0,736,$$

qui sont sensiblement les paramètres d'un cristal cubique rapporté à deux axes binaires non principaux et à un axe quaternaire vertical. Les caractéristiques des faces les plus

fréquentes deviennent alors (032) et (302), et si on les rapporte aux arêtes de la forme primitive (334) et (3$\bar{3}$4), dont les angles, dans un cristal cubique, sont égaux à 85°13′ et 94°47′, différant peu de 84°20′ et 93°10′, valeurs mesurées pour ces faces dans l'azotate d'ammoniaque.

Mais les cristaux de cette modification peuvent se présenter sous un aspect tout différent : si, lorsque l'azotate est fondu, on comprime la lamelle de verre supérieure, la modification quadratique, au lieu de passer par refroidissement à la modification monoclinique, passe directement à la modification orthorhombique : ce fait s'explique facilement, car, comme on le sait, lors du passage de la modification quadratique à la monoclinique, il y a une forte dilatation; si celle-ci ne peut se produire par suite de la présence de la lamelle de verre, c'est alors la modification orthorhombique, accompagnée d'une contraction, qui apparaît. Mais alors celle-ci présente des caractères particuliers : elle n'est pas vacuolaire et présente de nombreuses macles dodécaédriques suivant b^1. Il est d'ailleurs à remarquer que, dans certains cas, la modification orthorhombique se trouvant à une température supérieure à 32°, elle se transforme en la modification monoclinique, qui redonne par refroidissement la modification orthorhombique. Le passage de la modification quadratique à la modification orthorhombique se présente avec tous les caractères d'une transformation directe; une plage d'un cristal quadratique se transforme instantanément en une plage homogène d'un cristal orthorhombique, et l'orientation de celle-ci est déterminée par rapport à celle-là; pour éviter les erreurs d'interprétation, il faut seulement remarquer qu'un cristal quadratique peut donner naissance à plusieurs cristaux orthorhombiques maclés suivant les plans b^1. On se rend facilement compte que l'axe optique du cristal quadratique devient l'axe moyen du cristal orthorhombique, et que, si les plans

de macles b^1 du cristal quadratique ne se confondent pas avec ceux du cristal orthorhombique, ce qu'il est impossible de savoir, tout au moins les traces des deux séries de plans b^1 sont parallèles; ce qui achève de déterminer l'orientation des deux catégories de cristaux.

Si l'on refroidit avec du chlorure de méthylène les cristaux orthorhombiques à une température de — 16° environ, on les transforme en cristaux uniaxes positifs, ayant une biréfringence un peu plus faible que celle des cristaux quadratiques que nous avons étudiés plus haut. La transformation se fait comme dans le cas précédent, c'est-à-dire par plages, mais ce qui est particulier et probablement dû à l'action de la lamelle de verre supérieure, c'est que ces plages ont la forme de lamelles très allongées et ressemblent à s'y méprendre à des lamelles hémitropes; en outre, sur les sections, qui vont devenir perpendiculaires à l'axe optique de la nouvelle modification, il y a deux systèmes de ces lamelles, faisant entre elles un angle voisin de 120°; ce qui m'avait amené à dire dans une Note préliminaire que la nouvelle modification était ternaire et que la modification orthorhombique était quasi-ternaire : ceux qui ont fait des recherches à basse température et savent combien il est difficile d'observer par suite de la buée qui se dépose sur la préparation, ne seront pas étonnés qu'une erreur ait pu se produire dans cette détermination.

Un point sur lequel il faut insister, c'est que la transformation ne se propage pas de proche en proche, et qu'une partie d'un cristal peut parfaitement se transformer tandis que l'autre reste sous la première modification et exige pour se transformer une température beaucoup plus basse; de plus la surfusion cristalline est la règle, et, probablement par suite de la basse température, dans certaines préparations, on n'arrive pas à déterminer la transformation. Cette surfu-

sion rend très difficile la détermination de la température de passage : nous avons employé, pour l'obtenir, le dilatomètre de Van't Hoff, dont le réservoir, contenant de l'azotate et de l'essence de pétrole, plongeait dans de l'acétone refroidie à — 50° par de la neige acide carbonique. A cette température, l'azotate était transformé en cristaux uniaxes, et on laissait le tout se réchauffer progressivement en suivant la marche de la dilatation. La dilatation qui se produit dans un temps donné, diminue d'importance d'une façon continue. puis, à la température de — 16°, il y a une diminution brusque de cette dilatation et à — 14° elle devient négative. La contraction se continue jusqu'à — 8°, puis la substance commence à se dilater. Les températures ci-dessus indiquées sont celles de l'acétone et non celles de l'azotate ; si la dilatation diminue à — 16°, cela tient à ce que la partie extérieure de l'azotate du réservoir se transforme et se contracte à cette température, de sorte que cette contraction contrebalance la dilatation de la partie centrale, qui se trouve encore à une température plus basse; puis, cette partie centrale se transformant à son tour, c'est la contraction qui l'emporte. De là résultent deux points intéressants : la température de transformation est voisine de — 16° et elle est accompagnée d'une contraction quand la température s'élève.

Quand on suit sous le microscope la transformation, on constate que ce sont les sections parallèles au plan des axes optiques dans la modification orthorhombique, qui deviennent perpendiculaires sur l'axe optique dans la seconde. La première étant quasi-quadratique, celle-ci est quadratique; en outre elle est positive et orientée relativement à la modification orthorhombique, comme l'uniaxe stable au-dessus de 82°. Il n'y aurait rien de surprenant dans l'existence de deux modifications appartenant au même système et parallèlement orientées, car on connait déjà des exemples de faits

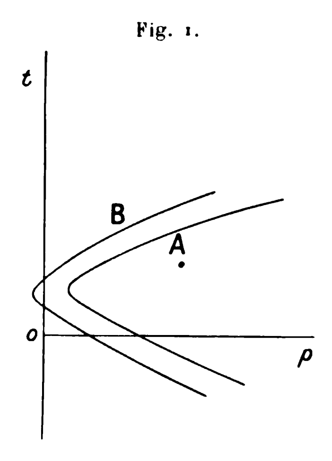
analogues dans le quartz, et, comme on le verra plus loin, dans l'azotate de potassium : dans ces deux substances, il y a deux modifications rhomboédriques ayant le même axe ternaire. Mais bien plus, il n'y a, en réalité, qu'une modification stable dans deux intervalles de température. Voici comment ce fait peut être établi : on verra plus loin qu'une faible quantité d'azotate de cæsium suffit pour rendre stable à la température ordinaire la forme quadratique provenant de la transformation de la modification cubique; en outre, elle persiste malgré le refroidissement le plus énergique. Mais, si l'on appuie légèrement sur un cristal, avec une aiguille, la pointe d'un scalpel, la partie du cristal comprimée se transforme en la modification orthorhombique et reste transformée tant que la pression subsiste, mais revient instantanément à la forme quadratique dès que celle-ci cesse, de sorte qu'en déplaçant la pointe à la surface de la préparation, la plage déformée se déplace avec elle. Mais il est une remarque à faire, c'est qu'une faible pression ne suffit à entraîner la déformation que si la température est voisine de 20°; pour les températures plus élevées ou plus basses la pression doit être plus forte.

Si l'on diminue la proportion d'azotate de cæsium, le cristal orthorhombique obtenu par pression subsiste, lorsque celle-ci disparaît, mais le cristal redevient quadratique avec son orientation primitive quand l'on *chauffe* ou quand l'on *refroidit* la préparation.

Ces faits sont faciles à interpréter : si, dans la première expérience, la modification orthorhombique apparaît quand on appuie la pointe du scalpel, cela tient à ce que, sous la pression atmosphérique, elle n'est stable à aucune température, tandis que les conditions de stabilité sont réalisées pour la température voisine de 20° et pour une pression un peu supérieure à la pression atmosphérique. Autrement dit,

si l'on porte sur l'axe des x la pression et sur l'axe des y la température de transformation, le domaine de stabilité de la modification orthorhombique sera compris à l'intérieur d'une courbe, telle que A (*fig.* 1), dont la convexité est tournée vers l'axe des y, mais ne le rencontrant pas. Pour la seconde expérience, cette courbe B rencontre l'axe des y en deux points

Fig. 1.

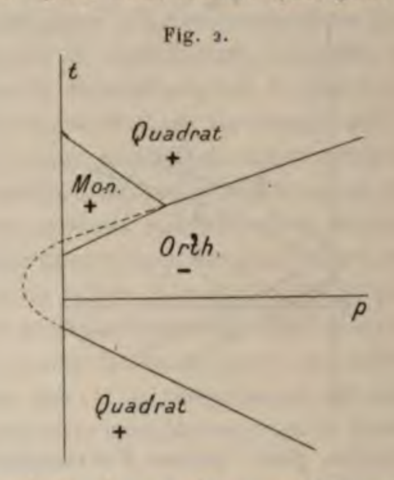


rapprochés, et enfin, pour l'azotate d'ammonium pur, cette courbe rencontre cet axe en des points correspondant aux températures de 42° environ et de —16°. Il ne faut pas oublier, en effet, que, en vertu de la formule de Clapeyron, la température de passage de la modification quadratique, stable aux températures inférieures, va en baissant quand la pression augmente. La figure ci-jointe résume ces résultats ainsi que ceux de M. Tammann (*fig.* 2). Elle montre que la courbe séparant la modification quadratique de la modification orthorhombique, déterminée expérimentalement par M. Tammann, traverse le domaine de la modification monoclinique, pour venir couper l'axe des y à la température de 42° environ. C'est suivant cette courbe que s'effectue la transformation

quand, grâce à la surfusion, on évite la modification monoclinique; mais alors la modification orthorhombique se trouve dans le domaine de stabilité de la modification monoclinique, il n'y a donc rien d'étonnant à ce que fréquemment les cristaux orthorhombiques reviennent à la forme monoclinique.

En outre, la figure nous montre que, pour les pressions

Fig. 2.



négatives, c'est-à-dire les tractions supérieures à une certaine valeur, on évite la modification orthorhombique, et si, grâce à la surfusion, on évite la modification monoclinique, les cristaux quadratiques restent quadratiques pour toutes les températures inférieures, sans transformation polymorphique. A la pression ordinaire, la modification quadratique est donc stable dans deux intervalles de température : on est en présence d'un phénomène analogue à celui qui nous est offert par le mélange de nicotine et d'eau, qui sont miscibles en toutes proportions au-dessous de 60° et au-dessus de 210° et qui, entre ces deux températures, se répartissent en deux couches de compositions différentes.

Azotate de potassium. — Cet azotate présente trois modifications cristallines : à la température ordinaire, il est d'apparence orthorhombique, mais il est, en réalité, monoclinique quasi-ternaire, car l'angle des faces du prisme *m* est de 118°51', au lieu de 120°, et des macles fréquentes se produisent suivant les faces de ce prisme. Le réseau est même quasi-cubique puisque les faces (**101**), (**10$\bar{1}$**) font un angle de 109°56' au lieu de 109°28'. Mais il y a doute sur la véritable nature de ce réseau et l'on peut se demander s'il appartient au type cubique ou au type calcite, autrement dit si ses paramètres sont 1,692:1:1,186 ou bien 1,692:1:0,7907. La biréfringence étant très élevée et les autres modifications étant du type calcite, la dernière solution est la plus vraisemblable.

Quoi qu'il en soit, ces cristaux, qui sont négatifs au point de vue optique, n'ont rien de commun avec les cristaux d'azotate d'ammoniaque, qui sont quasi-quadratiques et non quasi-ternaires.

Chauffés à 126°, ces cristaux se transforment en cristaux uniaxes ternaires. Comme on le constate facilement en suivant la marche inverse, c'est-à-dire en fondant les cristaux monocliniques sur une lamelle porte-objet et en suivant l'effet du refroidissement, les cristaux résultant de la solidification sont uniaxes négatifs, très biréfringents et se maclent très facilement suivant les faces d'un rhomboèdre sous l'influence de la pression. Par refroidissement, on franchit presque toujours la température de 126°, sans que la transformation se produise par suite de la surfusion cristalline. Mais, alors, à une température différant peu de 114°, il y a une augmentation brusque de biréfringence et les cristaux se transforment en une autre modification uniaxe orientée parallèlement à la première ; les sections perpendiculaires à l'axe optique dans la première modification le sont également dans la seconde. Naturellement, cette modification, qui ne

s'obtient que grâce à la surfusion, ne se produit pas quand on chauffe la modification monoclinique, qui passe directement à la première modification.

Comme Mallard l'a montré depuis longtemps, la modification stable au-dessus de 126° se produit par l'évaporation d'une dissolution : on obtient des rhomboèdres, dont l'angle plan des faces est à peu près de 102°30′, ce qui donne pour l'angle dièdre une valeur de 106°36′, et pour le paramètre le nombre 0,828. On a donc affaire à des cristaux du type calcite. La solution se refroidissant, on voit un voile passer sur les cristaux qui se trouvent transformés en la seconde modification uniaxe sans que les arêtes ni les faces perdent de leur netteté; la forme n'est pas modifiée. Puis un second voile passe et les cristaux sont transformés en la modification monoclinique.

Azotate de cæsium. — A la température ordinaire, ce corps se présente en cristaux rhomboédriques quasi-cubiques, comme le démontrent la très faible biréfringence d'une part, et la valeur du paramètre de l'autre; celui-ci est, en effet, égal à 1,234, au lieu de 1,224, valeur du paramètre dans les cristaux cubiques. Au point de vue optique, ils sont d'ailleurs positifs et non négatifs, comme cela a été dit par inadvertance.

A la température de 145°, ces cristaux se transforment en cristaux cubiques. D'autre part, si l'on refroidit les cristaux ternaires dans l'air liquide, on constate que la biréfringence diminue progressivement, de telle sorte qu'à partir d'une certaine température, on doit les considérer pratiquement comme isotropes.

Azotate de rubidium. — Ce sel, à la température ordinaire, est rhomboédrique, quasi-cubique, comme le montrent son

paramètre, qui est égal à 1,229, et sa faible biréfringence; il est positif et, par suite, présente la plus grande analogie avec l'azotate de cæsium. Entre 161° et 219°, il est cubique et, ensuite, il devient rhomboédrique, mais alors il appartient au type calcite, comme le montre sa forte biréfringence; il

Fig. 3.

est négatif et se macle mécaniquement suivant les trois faces d'un rhomboèdre, probablement le rhomboèdre p, comme la calcite et l'azotate de soude (*fig.* 3).

Azotate de thallium. — Au-dessous de 80°, ce corps est orthorhombique et ses paramètres sont 0,511 : 1 : 0,651, que l'on a comparés à ceux de l'azotate de potasse, que l'on prenait égaux à 0,591 : 1 : 0,701. On en a conclu à l'isomorphisme de ces deux sels et, comme dans l'azotate de thallium l'angle des faces m est de 125°52′, tandis qu'il est de 118°50′ dans l'azotate de potasse, on en a conclu que, entre les angles de deux corps isomorphes, il pouvait exister une différence de 7°. Or, comme on va le voir, il n'existe aucun rapport entre les cristaux des deux sels; les cristaux de l'azotate de potassium sont

en effet quasi-ternaires, tandis que ceux de l'azotate de thallium sont quasi-quaternaires. Si, en effet, on comprime une section d'azotate de thallium perpendiculaire à la bissectrice aiguë des axes optiques, c'est-à-dire à l'axe cristallographique vertical, on détermine la formation de quatre systèmes de macles disposés comme les macles suivant les plans b^1 d'un cristal quadratique, les deux axes cristallographiques horizontaux étant dirigés suivant les diagonales du carré dessiné par les traces de ces macles. L'axe vertical est donc un axe quasi-quadratique; mais, bien plus, si l'on multiplie le premier paramètre par 2, on obtient 1,022 : 1 : 0,651, qui montrent que le cristal est quasi-cubique rapporté à un axe vertical quasi-quaternaire et à deux axes horizontaux binaires non principaux.

Au delà de 80°, le sel est rhomboédrique quasi-cubique, positif, comme les azotates de rubidium et de cæsium, puis, à 125°, il devient cubique.

Il se peut que ces azotates présentent d'autres modifications stables aux basses températures. Il ne faut pas oublier, en effet, que, quand la température baisse au-dessous de — 20°, les transformations polymorphiques ne se produisent que difficilement et même ne se produisent plus : la matière est pour ainsi dire figée.

En résumé, sous la pression atmosphérique, à la température ordinaire, les azotates d'ammonium et de thallium sont orthorhombiques quasi-quadratiques et peuvent être isomorphes, sans que nous puissions l'affirmer, puisqu'il ne nous a pas été possible de déterminer d'une façon complète leurs formes primitives. Elles peuvent être quasi-cubiques et, dans ce cas, les plans de macle b^1 doivent faire avec le plan p un angle voisin de 45°, mais il peut aussi se faire que les formes primitives appartiennent à un autre type et que l'axe

quasi-quaternaire ait un paramètre qui soit dans un rapport simple avec celui d'un cristal cubique. Pour trancher cette question, il eût fallu pouvoir mesurer l'angle des plans b^1 avec le plan p.

En second lieu, les azotates de rubidium et de cæsium sont rhomboédriques quasi-cubiques et tout fait prévoir leur isomorphisme. Enfin l'azotate de potassium se détache des autres, en ce qu'il est quasi-ternaire, fort probablement du type calcite, comme l'indique sa forte biréfringence.

Quoi qu'il en soit, ces azotates peuvent se mélanger pour cristalliser et ces mélanges sont polymorphes. Pour étudier ce polymorphisme, nous opérerons par fusion. On dissout les deux corps en proportions connues dans l'eau, et l'on fait évaporer une goutte de la dissolution sur la lame porte-objet. On obtient ainsi un mélange en petites quantités des deux substances; on les fait fondre et l'on recouvre de la lamelle couvre-objet, en ayant soin de la déplacer en sens divers pour rendre le mélange homogène. On est assuré de l'homogénéité par ce fait que plusieurs préparations fournissent les mêmes résultats.

Pour déterminer les températures de transformation, nous nous sommes naturellement servi de la méthode optique. Nous avons employé le microscope de M. Wyrouboff, modifié dans le dispositif de chauffage, qui s'effectue ici par trois petits becs Bunsen. On chauffe ainsi une petite boîte en cuivre, au milieu de laquelle on place la préparation, soutenue par trois petites potences. Une ouverture latérale laisse passer la tige du thermomètre et l'on observe par deux ouvertures circulaires, percées dans le fond et dans le couvercle, et couvertes d'une lame de verre pour éviter les courants d'air.

Les résultats ont été résumés, par la représentation graphique, en portant sur l'axe des x le tant pour cent en poids des substances, et sur l'axe des y la température de transfor-

mation. Étant donné que nous nous proposions surtout d'étudier les différentes modifications au point de vue cristallographique, la méthode optique, que nous avons adoptée, était certainement préférable à toute autre. Mais nous ne pouvons contester que, à d'autres points de vue, la méthode ne présente de grands inconvénients. On sait combien, dans le cas de cristaux purs, il est difficile de déterminer les températures de transformation, par suite des phénomènes de surfusion et de surchauffe cristallines : il n'y a pas deux auteurs qui donnent la même valeur pour une température de transformation. Or, dans le cas présent, on sait que les cristaux qui prennent naissance dans un magma fondu, n'ont pas tous la même composition ; il en résulte que les transformations successives ne se produisent pas pour tous les cristaux à la même température, et la méthode que nous avons employée est impuissante à mettre en évidence ces différences de température.

D'autre part, quand la série des mélanges isomorphes présente une lacune, les limites de cette lacune ne peuvent être qu'approximativement déterminées : dans l'intervalle de ces limites, on obtient, en effet, un conglomérat de deux espèces de cristaux, correspondant par leur composition à chacune des limites. Or, si les cristaux d'une espèce sont fortement biréfringents et ceux de l'autre faiblement réfringents, quand ceux-ci seront en faible quantité, ils disparaîtront au milieu des autres et l'on sera amené à en conclure que les limites de la lacune sont atteintes. Inversement, l'autre limite sera déterminée avec précision, puisque les cristaux fortement biréfringents, même très petits, seront nettement visibles au milieu des autres. De même, si les limites de la lacune varient avec la température, il sera, en général, impossible par notre méthode de déterminer ces variations. Aussi devra-t-on considérer les diagrammes donnés dans la suite

comme schématiques et comme représentant la marche générale des phénomènes.

Mélanges d'azotate d'ammonium et d'azotate de cæsium.

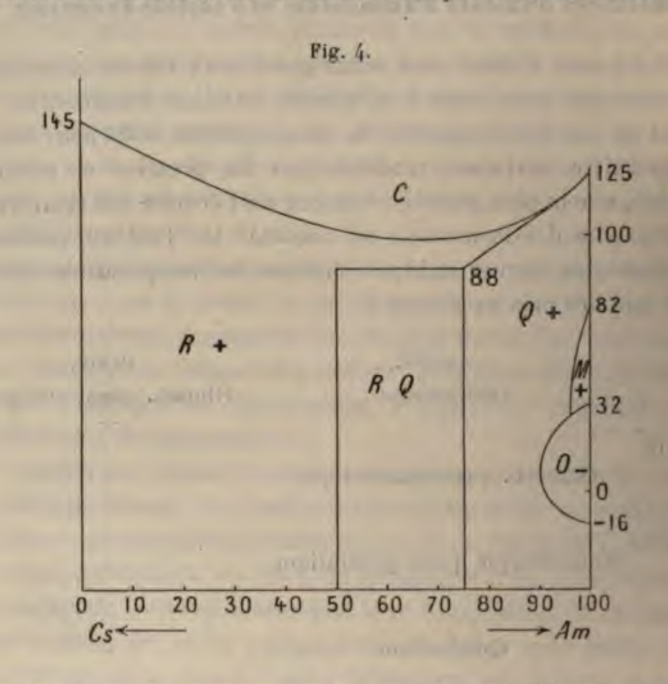
Il est tout d'abord une remarque à faire sur ce mélange, comme sur tous ceux renfermant l'azotate d'ammonium : c'est qu'une faible quantité du second azotate suffit pour faire disparaître certaines modifications du premier et rendre stable, sur la plus grande longueur de l'échelle des températures, une des formes de cet azotate. Le Tableau suivant indique les formes stables à chacune des températures dans les azotates pris isolément :

	$AmNO^3$.	$CsNO^3$.
	Quadratique	Rhomb. quasi-cubique
	+	+
— 16°		
	Orthorh. quasi-quadratique	»
	—	
+ 32		
	Monoclinique quasi-quadratique	»
	+	
82		
	Quadratique	»
	+	
125		
	Cubique	»
145		
	Cubique	Cubique

Comme le fait prévoir le Tableau et comme le montre le diagramme (*fig.* 4), pour les températures élevées le mélange est toujours cubique. Par refroidissement, les cristaux se transforment en cristaux rhomboédriques, quasi-cubiques, positifs, en tout semblables à ceux de l'azotate de cæsium,

tant que la proportion de l'azotate d'ammonium reste inférieure à 85 pour 100 environ; cette limite étant difficile à déterminer par suite de la surfusion qui fait passer directement les cristaux de la forme cubique à la modification

Fig. 4.



quadratique. La température de transformation baisse d'ailleurs d'une façon continue depuis la température de 145°, pour l'azotate de cæsium pur, jusqu'à la température de 100°, pour le mélange à 60 pour 100. Ces cristaux rhomboédriques subsistent pour les températures inférieures, tant que la proportion de $AmAzO^3$ est inférieure à 50 pour 100.

De 50 à 75 pour 100 d'azotate d'ammonium, les cristaux rhomboédriques, à la température fixe de 88°, donnent naissance à un conglomérat de cristaux rhomboédriques et de cris-

taux quadratiques, le nombre de ces derniers augmentant progressivement de façon à rester seuls, pour la proportion de 75 pour 100. Le phénomène est très curieux, car les cristaux quadratiques apparaissent sous forme de fines arborescences au milieu des cristaux rhomboédriques (*fig.* 5). Mais, bien entendu, ceux-ci ont pris part à la transformation et leur com-

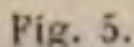


Fig. 5.

position est changée. Autrement dit, une plage rhomboédrique se trouble, puis s'éclaircit en donnant naissance aux arborisations rhomboédriques au milieu d'un cristal quadratique. Comme aspect, la préparation se modifie d'ailleurs avec le temps. Dans la figure 5, les grandes plages noires représentent des cristaux rhomboédriques très peu biréfringents non modifiés; à côté se trouvent de fines arborescences quadratiques séparées par des filaments rhomboédriques. Les arborescences quadratiques en un jour ou deux se contractent,

se ramassent sur elles-mêmes pour donner les plages que l'on voit à droite de la figure.

A partir de cette proportion, la température de transformation augmente progressivement depuis 88° jusqu'à 125°, température de transformation pour l'azotate pur. De plus, pour les proportions variant entre 75° et 86° pour 100 d'azotate d'ammonium, la modification quadratique est stable à toutes les températures au-dessous de sa température de passage à la modification cubique. La transformation des cristaux rhomboédriques en cristaux quadratiques présente une particularité intéressante en ce que, si l'on refroidit brusquement les premiers, la transformation est accompagnée de l'apparition de nombreuses lamelles hémitropes, très fines suivant les quatre plans b^1, ce qui permet de constater une relation d'orientation entre les cristaux quadratiques et les cristaux cubiques primitifs. Ceux-ci apparaissent lors de la solidification sous forme de trémies, il en résulte une disposition des inclusions permettant de reconnaître les plages perpendiculaires sur un axe quaternaire du cube; or, dans les cristaux quadratiques, ces plages présentent de fines lamelles hémitropes perpendiculaires et, en outre, elles sont perpendiculaires sur l'axe optique : l'axe quaternaire de ces cristaux coïncide donc avec un axe quaternaire du cube primitif.

Mais, tandis que pour la teneur de 75 pour 100 et les teneurs voisines la pression exercée n'a d'autre résultat que de déterminer la formation de macles secondaires, pour la teneur voisine de 86 pour 100 une faible pression détermine la transformation de la modification quadratique en la modification orthorhombique; mais celle-ci ne subsiste qu'autant que la pression se fait sentir, de sorte que la région transformée se déplace avec la pointe du scapel qui exerce la pression; la plage transformée a d'ailleurs, relativement aux cristaux quadratiques, une orientation parfaitement déter-

minée qui est celle indiquée pour les deux mêmes modifications dans l'azotate d'ammonium pur. D'autre part, pour qu'une faible pression suffise à déterminer la transformation, il est nécessaire que la température soit voisine de 20°; plus la température s'écartera de cette valeur, plus la pression devra être énergique pour déterminer la transformation. Enfin, à partir de 90 pour 100 d'azotate d'ammonium, la modification quadratique paraît encore être seule stable à toutes les températures, mais cela tient à la surfusion cristalline, et, si l'on comprime les cristaux, ils se transforment en la modification orthorhombique qui est stable à la température ordinaire; mais alors les cristaux orthorhombiques repassent à la modification quadratique, soit qu'on les chauffe, soit qu'on les refroidisse. Enfin, pour les teneurs plus élevées en azotate d'ammonium, la modification orthorhombique apparaît d'elle-même et alors aussi apparaît la modification monoclinique.

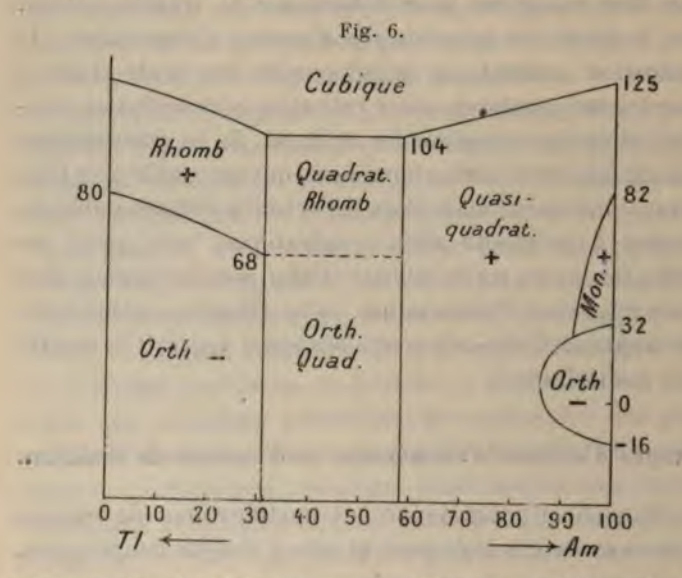
Mélanges d'azotate d'ammonium et d'azotate de thallium.

Le Tableau ci-joint donne les modifications de chacun de ces azotates pris isolément et cela à chaque température.

	Azotate d'ammonium.	Azotate de thallium.
	quadratique	orthorh. quasi-quadratique
	+	—
— 16°		
	orth. quasi-quadratique	»
	—	
32		
	monocl. quasi-quadratique	»
	+	
82		
	quadratique	rhomb. quasi-cubique
	+	+
125		
	cubique	cubique

Comme le Tableau permet de le prévoir pour les températures élevées, les mélanges sont cubiques pour toutes les proportions (*fig.* 6). Considérons d'abord le cas où la proportion d'azotate de thallium est inférieure à 32 pour 100. Les cristaux cubiques, par refroidissement, se transforment en

Fig. 6.



cristaux rhomboédriques quasi-cubiques, positifs, très peu biréfringents, en tout semblables aux cristaux d'azotate de thallium pur, mais la température de transformation baisse régulièrement depuis 125° jusqu'à 104° pour la proportion de 32 pour 100. Puis ces cristaux rhomboédriques se transforment en cristaux orthorhombiques quasi-quadratiques, négatifs, ayant tous les caractères des cristaux d'azotate de thallium à la température ordinaire : il y a cependant une petite différence consistant en ce que les cristaux d'azotate pur sont très petits, tandis que les mélanges cristallisent en grandes plages; ils se maclent d'ailleurs avec

grande facilité. La température de transformation baisse graduellement depuis 80° jusqu'à 68°.

Mais, si les proportions d'azotate d'ammonium sont comprises entre 32 et 58 pour 100, il doit se former deux espèces de cristaux cubiques, renfermant les uns 32 pour 100 et les autres 58 pour 100 d'azotate d'ammonium, car ils se transforment à la température constante de 104°, les uns en cristaux rhomboédriques, les autres en cristaux quadratiques; les premiers devenant orthorhombiques à la température fixe de 68°. Donc, dans cet intervalle, les cristaux conservent la même composition puisque les températures de transformation restent les mêmes, seule la quantité de cristaux quadratiques augmente lorsque le tant pour 100 d'azotate d'ammonium se rapproche de 58, de telle sorte que pour cette proportion les cristaux quadratiques restent seuls et cela à toutes les températures.

A partir de la proportion de 58 pour 100 d'azotate d'ammonium, les cristaux cubiques se transforment toujours en cristaux quadratiques à une température qui varie depuis 104° jusqu'à 125°, pour l'azotate pur. Comme dans le mélange d'azotate de cæsium la modification quadratique devient stable non seulement à la température ordinaire, mais encore aux températures plus basses. De plus, dans le cas du thallium, ces cristaux d'abord quadratiques deviennent orthorhombiques quand la proportion d'azotate d'ammonium augmente : l'angle des axes optiques grandit peu à peu et devient égal à 12° dans l'huile, le plan des axes coïncidant avec un plan *m* des cristaux quadratiques, autrement dit étant parallèle à la trace de l'un des systèmes de macles suivant b^1. Celles-ci s'obtiennent avec la plus grande facilité dans les cristaux quadratiques et dans les cristaux orthorhombiques. Mais en outre, dans ces derniers, il se produit des macles suivant les plans h^1 ; c'est à peine s'il est nécessaire

de toucher les cristaux pour faire naître ces dernières macles ; naturellement les cristaux maclés d'après cette loi ont leurs plans d'axes optiques orientés à 90° ; ce sont ces macles qui abondent dans la figure ci-jointe (*fig.* 7) ; les macles suivant b^1 ne sont représentées que par quelques lamelles. Si l'on chauffe ces cristaux orthorhombiques, ils deviennent quadra-

Fig. 7.

tiques à la température de 35°. Le passage d'une modification à l'autre peut s'observer de deux façons. En lumière parallèle, les cristaux maclés suivant h^1 ne présentent pas, en général, la même intensité lumineuse ; or, si l'on chauffe, on voit la différence s'atténuer progressivement de telle sorte qu'il est impossible de saisir le moment où la différence a disparu, où le plan de macle est devenu un plan de symétrie. Si l'on observe le cristal en lumière convergente on voit, sous l'influence de la chaleur, les deux branches d'hyperboles de la ligne neutre se rapprocher peu à peu et se confondre de façon à donner naissance à une croix noire qui ne se disloque pas quand on continue à chauffer.

Il y a donc continuité absolue entre l'uniaxie et la biaxie, entre un cristal quadratique et un cristal orthorhombique,

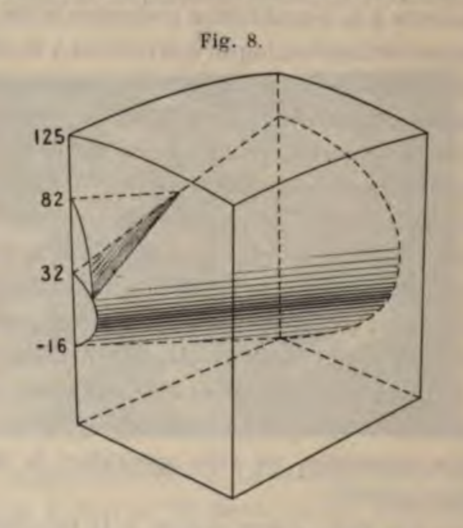
entre des cristaux appartenant à des systèmes cristallins différents.

Ces mélanges peuvent présenter des particularités identiques à celles que nous avons observées dans les mélanges d'azotate d'ammonium et d'azotate de cæsium, c'est-à-dire que, si le mélange renferme 88 pour 100 du premier, une faible pression exercée à la température ordinaire le transforme en la modification orthorhombique qui revient à la modification quasi-quadratique positive dès que la pression cesse. Pour une proportion un peu plus forte d'azotate d'ammonium, il y a surfusion ou surchauffe cristalline, de sorte que la forme quasi-quadratique positive subsiste à la température ordinaire, mais la transformation se produit sous la moindre augmentation de pression et persiste une fois la pression disparue; mais on revient à la première modification soit par échauffement, soit par refroidissement. Il est intéressant de remarquer que ce sont les deux plans de macles h^1 de la modification positive qui deviennent les deux plans de symétrie de la modification négative. Lorsque la proportion de l'azotate d'ammonium augmente, on voit apparaître la modification monoclinique positive.

D'après ce qui vient d'être exposé, à la température ordinaire se produisent successivement trois séries de cristaux : une première comprenant des cristaux ayant les caractères des cristaux de l'azotate de thallium; une seconde comprenant des cristaux quadratiques ou quasi-quadratiques positifs, et enfin une troisième comprenant des cristaux ayant le facies des cristaux d'azotate d'ammonium. L'expérience m'a montré que, si l'on fait cristalliser les mélanges par voie aqueuse, on obtient les mêmes résultats, sans pouvoir affirmer cependant que les limites de la lacune existant entre la première et la seconde série soient les mêmes que pour les mélanges obtenus par fusion ignée.

En coordonnant ces résultats avec ceux que l'étude de l'influence de la pression a révélés à M. Tammann, on peut se faire une idée de la forme des surfaces, qui limitent dans l'espace, le domaine de stabilité des différentes modifications, quand la température, la pression et la composition varient. La figure 8 montre l'aspect de ces surfaces quand la compo-

Fig. 8.



sition varie entre 58 et 100 d'$AmAzO^3$, mais, bien entendu, la représentation de ces surfaces n'est qu'approximative, puisqu'elle suppose que les limites de la lacune restent les mêmes quand la pression change ; ce qui, évidemment, n'est pas exact. Une surface supérieure, en forme de tuile, sépare le domaine cubique du domaine quadratique, au milieu duquel se découpe le domaine monoclinique, ayant la forme d'un cône dont le sommet est tourné vers des pressions positives, et le domaine orthorhombique, ayant la forme d'un tronc de cône dont le sommet est tourné en sens inverse. On voit bien, de cette façon, comment il y a continuité entre

la modification quadratique stable au-dessus de 32° et celle stable au-dessous de —16° pour l'azotate d'ammonium pur.

Mélanges d'azotate d'ammonium et d'azotate de rubidium.

Dans le Tableau ci-joint on a rappelé les différentes modifications, en indiquant les intervalles de températures dans lesquels elles sont stables quand chacun des sels est pris isolément.

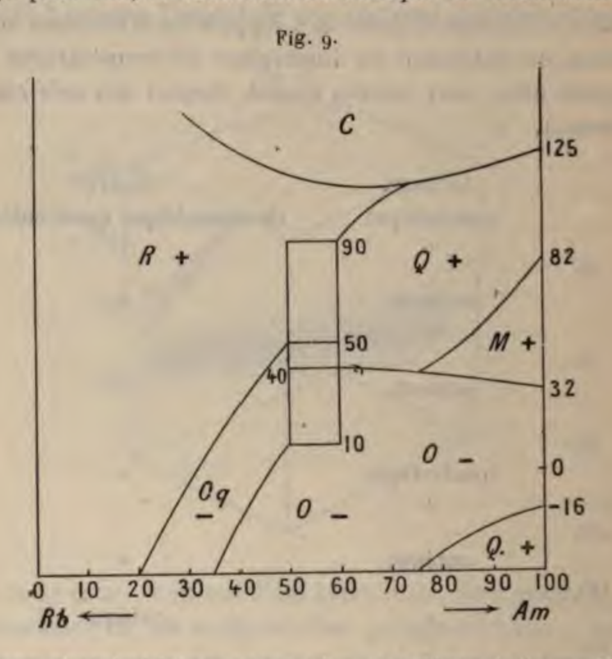
	$AmAzO^3$.	$RbAzO^3$.
	quadratique +	rhomboédrique quasi-cubique +
— 16°		
	orthorh. —	»
32		
	monocl. +	»
82		
	quadratique +	»
125		
	cubique	»
161		
	»	cubique
219		
	»	rhomboédrique type calcite —

Comme l'indique le Tableau pour une très forte proportion de $RbAzO^3$, les cristaux mixtes résultant de la solidification sont rhomboédriques du type calcite et possèdent une forte biréfringence et un signe négatif. Mais, comme une faible quantité d'azotate d'ammonium suffit pour faire disparaître cette modification et déterminer l'apparition de la modifica-

tion cubique dès la solidification, on n'a pas porté sur le diagramme (*fig.* 9) le domaine de stabilité de cette modification rhomboédrique.

Tant que la proportion d'azotate d'ammonium ne dépasse pas 75 pour 100, la modification cubique se transforme en

Fig. 9.



cristaux rhomboédriques ayant les caractères de la modification ternaire du $RbAzO^3$. Au delà, en cristaux quaternaires du type de l'$AmAzO^3$, la limite étant difficile à déterminer, car dans son voisinage on passe facilement au-dessus de la modification ternaire. Mais, par refroidissement, les cristaux rhomboédriques peuvent éprouver des changements différents suivant les proportions des deux sels : si la proportion du sel ammonium est inférieure à 27 pour 100, la modification rhomboédrique subsiste à toutes les températures ; pour une

proportion plus élevée, les cristaux rhomboédriques se transforment en cristaux orthorhombiques, négatifs, quasi-quadratiques, comme le prouve la possibilité de faire naître sur les sections perpendiculaires à la bissectrice de l'angle aigu des axes optiques, quatre systèmes de macles secondaires. Par sa biréfringence et par l'ensemble de ses caractères, cette modification est identique à la modification de l'azotate de thallium. En particulier, il est impossible de distinguer les préparations renfermant les cristaux mixtes d'azotate d'ammonium et d'azotate de rubidium de celles renfermant des cristaux mixtes d'azotate d'ammonium et d'azotate de thallium, étudiés précédemment. La température de transformation, qui est de 50° pour la proportion de 50 pour 100 de $AmAzO^3$, baisse assez rapidement quand cette proportion diminue. D'ailleurs le phénomène de la surfusion se produit fréquemment, et si, pour déterminer la transformation, on fait subir un refroidissement énergique à la préparation, le passage s'effectue d'une modification à l'autre par un processus qui mérite d'être signalé. Les cristaux cubiques résultent de la solidification du mélange liquide reposant généralement sur une face du cube, comme le montre la disposition des inclusions; deux des faces du cube sont donc perpendiculaires au plan de la préparation. Or, dans la transformation en cristaux rhomboédriques, ces faces du cube deviennent les faces d'un rhomboèdre et restent sensiblement perpendiculaires. En outre, elles sont des plans de clivage et, sous l'influence du refroidissement, les traces de ces plans de clivage apparaissent nombreuses et suivent deux directions à peu près perpendiculaires. C'est fort probablement la présence de ces plans de clivage qui détermine le mode particulier de transformation qui s'effectue suivant deux séries de lamelles, très fines et perpendiculaires, simulant à s'y méprendre des lamelles hémitropes, puisque des

lamelles transformées alternent avec des lamelles non transformées. Il est fort difficile de distinguer ces lamelles des véritables lamelles hémitropes, puisque, comme cela doit avoir lieu dans les deux cas, les deux systèmes de lamelles s'éteignent simultanément. Mais la distinction se fait facilement sur les sections obliques, parce que, alors, l'extinction se fait simultanément pour toutes les lamelles, ce qui évidemment n'aurait pas lieu si l'on avait affaire à des lamelles hémitropes. Comme on le voit, les choses se passent comme dans la transformation de la modification orthorhombique de l'azotate d'ammonium en modification quadratique par refroidissement. Dans un cas comme dans l'autre, si des parties de cristaux non transformés subsistent à côté des parties modifiées, cela tient probablement à ce que l'on se rapproche de la température indifférente à laquelle les deux modifications peuvent subsister l'une à côté de l'autre. Mais, à côté de ces lamelles, que l'on peut appeler *lamelles de transformation,* il existe de nombreuses lamelles hémitropes dodécaédriques, qui, par leur disposition, montrent bien que c'est un axe quaternaire du cube primitif qui est devenu un axe quasi-quaternaire du cristal orthorhombique.

Mais la remarque la plus intéressante au sujet de cette modification consiste en ce qu'elle n'existe ni dans l'azotate de rubidium, ni dans l'azotate d'ammonium : elle n'est stable que dans leur mélange, et c'est elle seule qui est isomorphe avec l'azotate de thallium; c'est, je crois, le premier exemple de fait de cette nature.

Par refroidissement, ces cristaux orthorhombiques se transforment en une modification ayant une biréfringence plus élevée, mais si finement maclée qu'il ne m'a pas été possible d'en faire l'étude optique complète; sa biréfringence est moins élevée que celle de la modification orthorhombique du $AmAzO^3$ pur; mais, quand la proportion de celui-ci aug-

mente, il paraît bien y avoir passage graduel entre les deux espèces de cristaux. Il en résulterait que les azotates de thallium et d'ammonium, quoique étant orthorhombiques quasi-quadratiques, ne seraient pas isomorphes.

Quand les proportions du $AmAzO^3$ varient entre 50 et 60 pour 100, les cristaux rhomboédriques se transforment partiellement à la température de 90° en cristaux quadratiques: ceux-ci se présentent tout d'abord en minces filonnets au milieu et sur le pourtour des cristaux rhomboédriques. Puis, à la température de 50°, les cristaux rhomboédriques se transforment en cristaux orthorhombiques du type $TlAzO^3$, tandis que les cristaux quadratiques subsistent jusqu'à la température de 40°, à laquelle ils donnent naissance à des cristaux orthorhombiques du type $AmAzO^3$. Comment expliquer la présence de ces conglomérats de cristaux? Il y a trois explications possibles : ou bien il se produit deux espèces de cristaux cubiques contenant respectivement 50 et 60 pour 100 de $AmAzO^3$ et donnant naissance à deux espèces de cristaux rhomboédriques qui se transforment respectivement en cristaux quadratiques et en cristaux orthorhombiques; ou bien les cristaux rhomboédriques, dont la composition varie depuis 50 jusqu'à 60 pour 100, n'étant plus stables à partir de 80°, se dédoublent alors en cristaux rhomboédriques contenant 50 pour 100 et en cristaux quadratiques contenant 60 pour 100 de $AmAzO^3$; enfin il est une troisième explication qui paraît confirmée par l'observation : celle-ci nous montre en effet que, si l'on réchauffe une plage orthorhombique traversée par un filonnet de cristaux quadratiques de façon à ramener le tout à l'état rhomboédrique, par refroidissement on peut obtenir une plage homogène orthorhombique. Ceci montre que le même édifice rhomboédrique peut passer à la modification orthorhombique du $AmAzO^3$ par deux chemins différents; il pourrait donc se faire que le con-

glomérat eût sa raison d'être dans ce double équilibre, la série quadratique voyant sa stabilité augmentée à mesure que la proportion de $AmAzO^3$ augmente elle-même. Il est vrai que, dans ce cas, la température de transformation ne reste pas constante quand la proportion de $AmAzO^3$ change, mais la variation doit être si faible qu'elle peut passer inaperçue.

Au delà de 60 pour 100, la modification rhomboédrique devient quadratique, puis orthorhombique du type du $AmAzO^3$ et, à partir de 75 pour 100, tout se passe comme pour l'azotate d'ammonium pur; les températures de transformation seules varient.

Mélanges d'azotate d'ammonium et d'azotate de potassium.

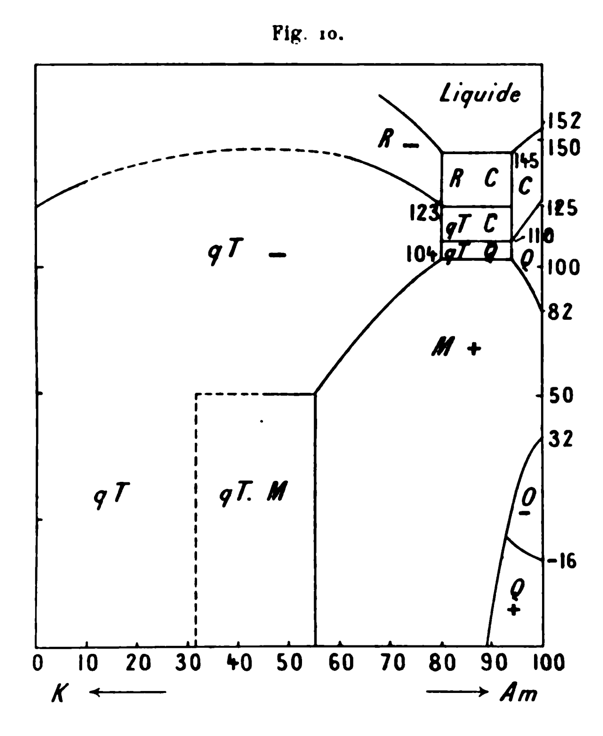
Les modifications de chacun des sels sont stables dans les intervalles de température ci-indiqués :

	$AmAzO^3$.	$KAzO^3$.
	Quadratique +	Quasi-ternaire type calcite —
— 16°		
	Orthorhombique —	»
32		
	Monoclinique +	»
82		
	Quadratique +	»
125		
	Cubique	Rhomboédrique type calcite —

La méthode de mélange par fusion ignée présente une réelle difficulté provenant de ce que l'azotate de potassium ne fond qu'à une température beaucoup plus élevée que

l'azotate d'ammonium, de sorte que, quand la proportion de celui-là est un peu élevée, celui-ci se décompose avant la fusion du mélange. Cependant, en commençant par les mé-

Fig. 10.



langes renfermant une proportion prépondérante de $AmAzO^3$, on obtient des résultats qui méritent d'être signalés.

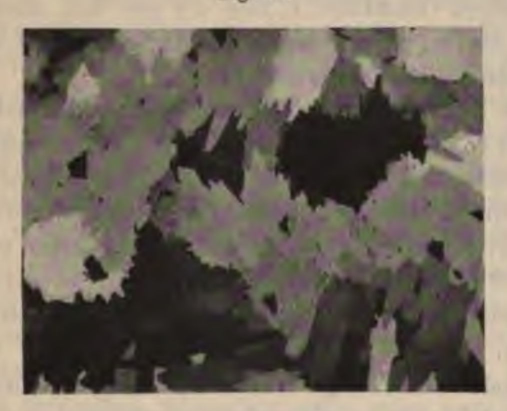
Comme le montre le diagramme (*fig.* 10), l'adjonction de l'azotate de potassium à l'azotate d'ammonium, tant que la teneur en celui-ci est inférieure à 93 pour 100, a pour effet d'abaisser la température des transformations accompagnées de dilatation et d'élever les températures de celles qui sont accompagnées de contraction. C'est ainsi que la température

baisse pour la fusion de 152° à 145°, pour le passage de la forme cubique à la forme quadratique de 125° à 110°, pour le passage de la forme monoclinique à la forme orthorhombique de 32° à —4°, tandis qu'il y a élévation pour le passage de la modification monoclinique à la modification quadratique de 82° à 104° et pour le passage de la modification quadratique à la modification orthorhombique de —16° à —4°. Mais la température de transformation de la forme monoclinique se rapprochant de plus en plus de la température de passage à la forme quadratique, il en résulte que, presque toujours, on passe de la première à la seconde par-dessus la modification orthorhombique quand on refroidit un peu vivement la préparation, et ce n'est que par réchauffement que la modification orthorhombique apparaît. Il se produit donc un phénomène identique à celui que l'on observe dans le passage direct de la forme quadratique à la forme orthorhombique par-dessus la forme monoclinique. C'est d'ailleurs la même cause qui intervient dans les deux cas : en sautant par-dessus une forme, le volume des cristaux varie d'une façon presque continue, et les variations brusques. qui sont la conséquence du passage par la modification intermédiaire, sont évitées. Il est en outre à remarquer que la transformation n'est plus gênée par l'abaissement de température, et qu'elle se fait d'une façon continue, sous forme d'un voile qui passe, au lieu de se produire par à-coup comme dans l'azotate d'ammonium pur.

A partir de 93 pour 100 de $AmAzO^3$, la solidification donne naissance à un conglomérat de cristaux cubiques renfermant 93 pour 100 de $AmAzO^3$ et de cristaux biaxes négatifs, dont les axes sont très rapprochés, qui renferment 80 pour 100 du même azotate. Mais il est à remarquer que souvent ces derniers cristaux commencent par être cubiques. A 123°, les cristaux biaxes se transforment en autres cristaux biaxes

dont les axes sont plus écartés, les bissectrices aiguës coïncidant. A 110°, les cristaux cubiques se tranforment en cristaux quadratiques, et alors on a, par exemple, des plages de ces derniers cristaux renfermant les cristaux biaxes, qui se présentent à l'état de filaments. A 104°, tous ces cristaux se transforment en cristaux monocliniques et la transformation

Fig. 11.



offre un très grand intérêt : au moment de la transformation, les cristaux se brouillent et deviennent le siège de mouvements vermiculaires dont il est fort difficile de déterminer la véritable nature et, après quelques instants, on commence à voir apparaître des plages qui s'individualisent peu à peu et finalement sont parfaitement homogènes (*fig.* 11); les filaments de la modification biaxe ont complètement disparu, et il faut bien admettre qu'il y a eu diffusion entre les biaxes et les cristaux quadratiques, au moment de la transformation, pour donner naissance à des cristaux appartenant à la modification monoclinique. Si je ne me trompe, ce serait le premier exemple bien démonstratif de la diffusion au sein de corps cristallisés, diffusion caractérisant les solutions et permet-

tant d'établir une analogie entre les mélanges isomorphes et les solutions liquides. Mais il est à remarquer que cette diffusion se produit au moment où il y a transformation polymorphique, où les molécules paraissent jouir d'une mobilité particulière, analogue à celle que l'on observe au moment où les molécules sortent d'une combinaison, de sorte que l'on est en droit de se demander si la diffusion a bien lieu en milieu cristallisé, si elle n'a pas lieu simplement en milieu solide, puisqu'elle se produit au moment où il y a désagrégation du milieu cristallisé.

Lorsque la proportion d'azotate d'ammonium baisse au-dessous de 80 pour 100, la solidification du mélange liquide donne naissance à des cristaux négatifs nettement biaxes, quoique l'angle des axes optiques soit petit. C'est cette modification qui devient progressivement uniaxe quand la teneur en $AmAzO^3$ diminue, et qui se confond finalement avec la modification rhomboédrique du type calcite de l'azotate de potassium.

Cette modification biaxe se transforme, à une température qui, partant de 125°, va d'abord en augmentant, puis baisse pour prendre la valeur de 125° lorsque l'azotate de potassium est pur, en une seconde modification dont l'angle des axes optiques est plus grand, dont la biréfringence est plus faible. Lorsque la teneur en azotate de potassium augmente, l'angle des axes diminue et se rapproche peu à peu de la valeur qu'il possède dans la modification quasi-ternaire de l'azotate de potassium.

Quand la proportion d'azotate d'ammonium varie de 80 à 55 pour 100, cette modification biaxe se transforme à une température qui varie de 104° à 50° en la modification monoclinique de l'azotate d'ammonium. Mais les caractères de celle-ci se modifient peu à peu : l'angle des axes optiques augmente progressivement, atteint puis dépasse la valeur

de 90°, de sorte que le cristal devient négatif. On voit donc que l'adjonction de l'azotate de potassium à l'azotate d'ammonium a pour principal effet de rendre stable, dans un domaine assez étendu, la forme monoclinique, qui est la moins stable dans l'azotate pur.

Mais quand la proportion d'azotate d'ammonium descend au-dessous de 55 pour 100, la modification monoclinique ne paraît plus stable au-dessous de 50°. Aussi, quand la température descend au-dessous de cette limite, voit-on les cristaux quasi-ternaires se dédoubler en cristaux monocliniques dont la composition correspond à la proportion de 55 pour 100 de $AmAzO^3$ et en cristaux quasi-ternaires dont la composition ne peut être déterminée : car, dans l'impossibilité où l'on se trouve de faire cristalliser les mélanges, par fusion ignée, pour une proportion plus élevée de $KAzO^3$, on ne peut limiter l'espace correspondant au conglomérat et, par suite, la proportion à partir de laquelle la forme quasi-ternaire se produit seule à la température ordinaire.

On peut, cependant, démontrer sans peine que l'azotate d'ammonium possède une modification quasi-ternaire qui n'est pas stable dans les conditions ordinaires. Il suffit, en effet, d'ensemencer une solution sursaturée du sel avec un cristal d'azotate de potassium, on la voit cristalliser immédiatement.

En terminant, il est important de faire remarquer le passage graduel constaté encore ici entre un uniaxe et un biaxe : on a vu, en effet, que le mélange renfermant moins de 80 pour 100 de $AmAzO^3$ cristallisait en cristaux dont la biaxie n'est pas douteuse, puisque la croix noire se disloque nettement dans des lames assez minces pour donner des teintes en lumière polarisée parallèle ; or, ces cristaux biaxes se transforment progressivement en rhomboèdres du type calcite.

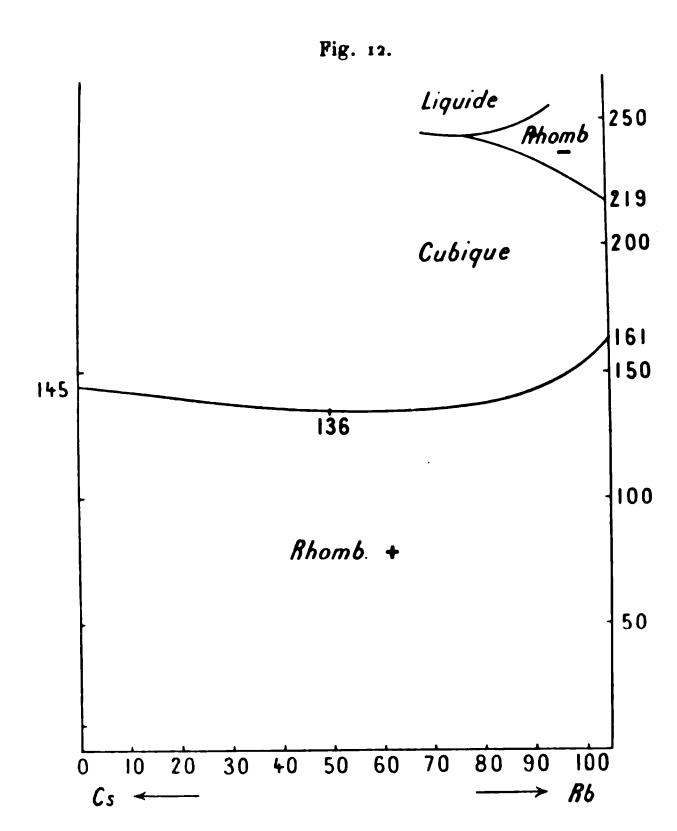
Mélanges d'azotate de cæsium et d'azotate de rubidium.

Comme le montre le Tableau ci-joint, l'analogie est beaucoup plus marquée entre ces azotates qu'entre les précédents.

	$CsAzO^3$.	$RbAzO^3$.
	Rhomboédr. quasi-cubique +	Rhomboédr. quasi-cubique +
145°		
	Cubique	»
161		
	»	Cubique
219		
	»	Rhomboéd. type calcite —

Les particularités à signaler sont beaucoup moins nombreuses que pour les mélanges précédents. Tant que la proportion d'azotate de rubidium est inférieure à 75 pour 100, le mélange en se solidifiant donne naissance à des cristaux cubiques qui se transforment en cristaux rhomboédriques très peu biréfringents, et dont la biréfringence va en diminuant quand la température baisse (*fig.* 12). La température de transformation baisse elle-même de 145°, pour le $CsAzO^3$ pur jusque 136°, se maintient dans le voisinage de cette température, puis se relève assez brusquement jusque 161° pour le $RbAzO^3$ pur. Mais, si la proportion de $RbAzO^3$ est supérieure à 75 pour 100, le liquide se solidifie sous forme de cristaux rhomboédriques négatifs dont la biréfringence relativement faible au début va en augmentant quand la proportion de $RbAzO^3$ augmente. Quant à la température de transformation de cette modification rhom-

Fig. 12.



boédrique à la modification cubique, elle baisse graduellement depuis 248° jusqu'à 219°.

Mélanges d'azotate de rubidium et d'azotate de thallium.

Les rapports des différentes modifications de ces deux corps sont les suivants :

	$TlAzO^3$.	$RbAzO^3$.
	Orthorhomb. quasi-quadr..	Rhomboédrique quasi-cubique
	—	+
80°		
	Rhomboédr. quasi-cubique	»
	—	
125		
	Cubique	»
161		
	»	Cubique
219		
	»	Rhomb. type calcite
		—

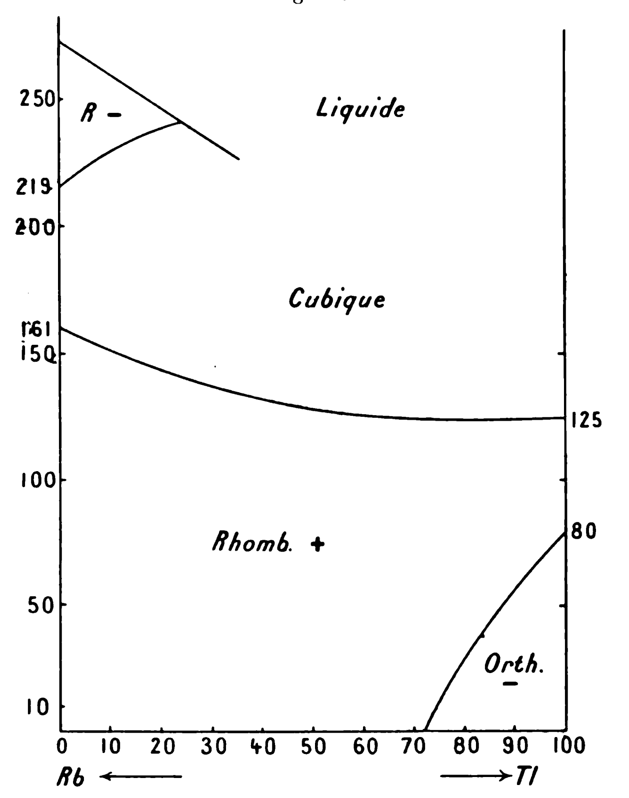
Quand la proportion de $RbAzO^3$ varie de 0 à 25 pour 100, le mélange, en se solidifiant, donne naissance à des cristaux rhomboédriques négatifs du type calcite dont la biréfringence, d'abord très élevée, va en baissant peu à peu (*fig.* 13).

Ces cristaux se transforment en cristaux cubiques à une température qui s'élève depuis 219° jusque 245° pour 25 pour 100 de $RbAzO^3$. A partir de cette proportion, les mélanges cristallisent directement en cristaux cubiques.

Ces derniers se transforment en cristaux rhomboédriques positifs, quasi-cubiques, à une température qui baisse à partir de 161° jusque dans le voisinage de 125° où elle se maintient pour l'azotate de thallium pur.

Enfin, quand l'azotate de thallium est prépondérant, mais pour une proportion et à une température qu'il est fort difficile de déterminer, les cristaux rhomboédriques se transforment en cristaux orthorhombiques négatifs du type azotate de thallium; la surfusion est, en effet, la règle, et la transformation ne se produit que longtemps après le passage par la température où elle doit avoir lieu.

Fig. 13.



Mélanges d'azotate de thallium et d'azotate de cæsium.

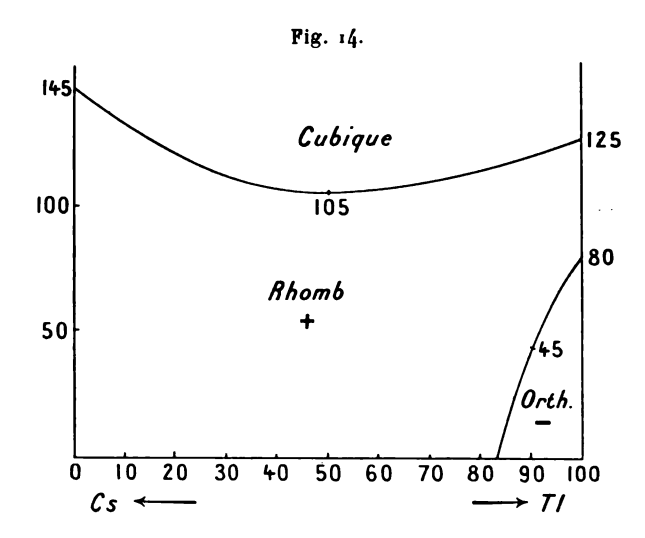
Les différentes modifications de ces sels sont les suivantes :

	$TlAzO^3$.	$CsAzO^3$.
	Orthorhombique	Rhomboédrique
	—	+
80°		

	$TlAzO^3$.	$CsAzO^3$.
	Rhomboédrique	»
	+	»
125°		
	Cubique	»
145		
	»	Cubique

Les mélanges, quelles que soient les proportions des deux corps, se solidifient en cristaux cubiques qui se transforment

Fig. 14.



en cristaux rhomboédriques quasi-cubiques à une température qui varie depuis 145° jusque 105° qui paraît être la valeur minimum, pour la proportion de 50 pour 100, se relève ensuite et atteint la valeur de 125° pour l'azotate de thallium pur (*fig.* 14).

Pour une proportion élevée d'azotate de thallium, ces cristaux rhomboédriques se transforment en cristaux orthorhombiques. Mais il y a toujours surfusion, et il est à remarquer

que, par une pression même légère exercée sur la préparation, on détermine la transformation.

Mélanges d'azotate de potassium et d'azotate de thallium.

Les différentes modifications de chacun de ces sels sont les suivantes :

	$TlNO^3$.	KNO^3.	
	Orthorhombique	Quasi-ternaire	
	—	—	
80°			
	Rhomboédr. quasi-cubique	»	
	+		
125			126°
	Cubique	Rhomboédr. type calcite	

Comme on le voit, il n'y a aucun rapport entre les formes cristallines de ces deux corps, et nous ne saurions nous étonner de ce que les cristaux mixtes ne présentent que peu de stabilité.

Les premières recherches sur la cristallisation des mélanges de ces corps ont été faites par M. Fock (1). Il a constaté qu'à la température de 25°, il se formait, par cristallisation en dissolution, des cristaux dont les uns contenaient une quantité d'azotate de potassium variant de o à 2, 3, et les autres une quantité du même azotate variant de 85 à 100. Mais de cette expérience on ne peut conclure qu'une chose : c'est que, dans les conditions où s'est effectuée la cristallisation, les mélanges contenant ces proportions sont plus stables que les autres, et il ne faudrait pas en déduire que les autres mélanges ne puissent exister, et que, par la méthode de mélange par fusion, nous devions obtenir des cristaux compris exactement dans les mêmes limites.

---

(1) Fock, *Zeitschr. f. Krystal.*, t. XXVIII.

A deux reprises, M. van Eyk a étudié la question dans toute son ampleur et déterminé les températures de transformation des cristaux mixtes de ces deux corps. M. Eyk a employé une méthode thermique, c'est-à-dire déterminé les températures auxquelles se produisait un dégagement ou une absorption de chaleur, températures qui sont évidemment les températures de transformation (¹).

M. Eyk a constaté ainsi que la série des mélanges cristallisés présentait une lacune dont il a déterminé les limites. Il a cru devoir chercher à établir que les limites de cette lacune variaient avec la température à laquelle l'on considérait le mélange : il est bien évident, *a priori*, que ces limites doivent varier, mais il ne me semble pas que la méthode de M. Eyk ait pu lui permettre de mettre ce fait en évidence. Quand, en effet, on approche d'une limite de la lacune, le conglomérat de deux sortes de cristaux, qui correspond à cette lacune, ne renferme plus qu'une très faible quantité de l'une de ces sortes de cristaux, et, par suite, si cette sorte de cristaux vient à passer d'une modification à une autre, la quantité de chaleur dégagée ou absorbée sera insignifiante et passera inaperçue. Or, dans la méthode de M. Eyk, le dégagement de chaleur accompagnant la transformation d'une certaine espèce de cristaux est le seul indice de l'existence de ces cristaux dans le conglomérat; elle est donc peu apte à déceler la présence des derniers de ces cristaux, c'est-à-dire à préciser les limites de la lacune.

Dans la méthode optique que nous avons employée, on peut se buter à un obstacle de nature différente, mais aboutissant au même inconvénient. Les mélanges que nous étudions dans ce paragraphe appartiennent à deux types; d'une part, le type de l'azotate de potasse dont les cristaux sont for

---

(¹) *Zeitsch. f. physik. Chemie*, vol. XXX et LI.

tement biréfringents; et, de l'autre, les cristaux du type de l'azotate de thallium qui sont peu biréfringents : si donc le conglomérat renferme une grande quantité de cristaux du premier type, les seconds pourront passer inaperçus. Au contraire, si ce sont les cristaux du type $TlAzO^3$ qui dominent, au milieu de ces cristaux peu biréfringents, on apercevra sans peine les cristaux très biréfringents du type $KAzO^3$, et l'une des limites de la lacune sera déterminée avec grande précision. Aussi, je n'ai pas cherché à déterminer la variation de la lacune avec la température, considérant les résultats comme trop incertains.

D'après M. Eyck, au moment de la solidification du magma liquide, les cristaux renferment une teneur de $KAzO^3$ variant de 0 à 3 d'une part et de 27 à 100 en poids de l'autre, tandis qu'à 25° les limites seraient celles indiquées par M. Fock.

Le résultat de nos recherches se trouve résumé dans le diagramme suivant (*fig.* 15). A la température de solidification les limites de la lacune seraient 33 et 5 pour 100 d'azotate de potassium. Comme il a été expliqué plus haut, la limite de 33 n'est déterminée qu'approximativement, car il se peut qu'une petite quantité de cristaux du type de l'azotate de thallium ait passé inaperçue. Au contraire, l'autre limite est déterminée avec une précision suffisante parce que, au milieu des cristaux cubiques, il est facile d'apercevoir les petits cristaux brillants d'azotate de potassium.

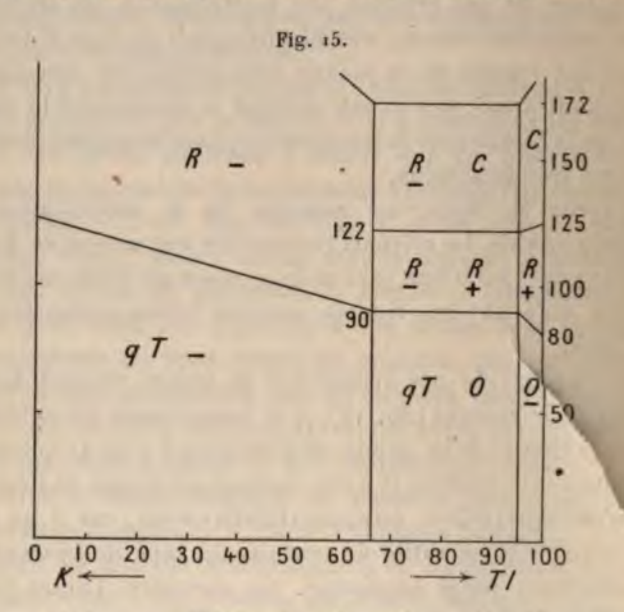
Les cristaux rhomboédriques du type calcite qui se forment quand la teneur en azotate de potassium varie de 33 à 100 pour 100 sont d'autant moins bien développés que la quantité en azotate de thallium est plus élevée, mais ils n'en présentent pas moins tous les caractères des cristaux d'azotate de potassium pur : ils se maclent sous l'influence de la pression et de la contraction. Par suite de la surfusion cristal-

line, ils se transforment en une autre modification ternaire orientée parallèlement à la première.

A une température qui varie de 120° à 90°, ils passent à la modification quasi-ternaire.

Quand la teneur en azotate de thallium est supérieure à 66,

Fig. 15.



il se produit, par solidification du mélange liquide, un conglomérat de deux espèces de cristaux et, dans aucun des autres mélanges d'azotates alcalins, on ne peut rencontrer un exemple aussi net de mélange eutectique. On voit se former tout d'abord des étoiles généralement à quatre branches, qui sont autant de cristaux rhomboédriques, nageant dans le liquide. Puis, subitement, à la température de 172°, on voit tout le liquide cristalliser, pour donner naissance à un lacis de cristaux de deux sortes ; les uns sont des cristaux rhomboédriques, les autres des cristaux cubiques. Assez fréquemment

les cristaux rhomboédriques qui entourent un cristal de première consolidation sont orientés comme lui : on a une véritable micropegmatite.

A la température de 90°, les cristaux rhomboédriques se transforment en cristaux quasi-ternaires et, à la température de 122°, les cristaux cubiques se transforment en cristaux rhomboédriques positifs, très peu biréfringents, qui n'ont rien de commun avec ceux de l'azotate de potassium ; enfin, à une température qui diffère trop peu de 90°, pour en être distinguée, ces derniers cristaux se transforment en la modification orthorhombique négative du type des cristaux purs d'azotate de thallium.

Enfin, quand la proportion d'azotate de thallium atteint 95 pour 100, les cristaux du type de l'azotate de potassium disparaissent et les mélanges cristallisés ne diffèrent que très peu des cristaux du sel pur. Par solidification, on obtient des cristaux cubiques qui, à une température qui varie de 122° à 125°, se transforment en cristaux rhomboédriques positifs et ceux-ci, à une température qui descend de 90° à 80°, passent à la modification orthorhombique.

En définitive, les mélanges de ces deux azotates, qui ne présentent rien de particulier, offrent de grandes difficultés en ce qui concerne la détermination des limites et des températures.

élanges d'azotate de potassium et d'azotate de rubidium.

Les modifications de ces azotates pris isolément sont les vantes :

$KAzO^3$.	$RbAzO^3$.
quasi-ternaire	Rhomb. quasi-cubique
—	+

	$KAzO^3$.	$RbAzO^3$.
	Rhomb. type calcite	»
161	—	
	»	cubique
219		
	»	Rhomb. type calcite
		—

On voit donc que, à haute température, ces deux azotates paraissent bien isomorphes, tandis que, au-dessous de 219°, leurs modifications cristallines semblent n'avoir rien de commun.

Les mélanges cristallisés de ces deux azotates obtenus par voie aqueuse présentent quelque intérêt, principalement au point de vue optique. La série de ces mélanges présente une lacune : tant que l'azotate de potassium domine, les cristaux ont les formes cristallines quasi-ternaires de l'azotate de potassium pur, et l'on passe, par l'intermédiaire de cristaux mal venus, à des cristaux ayant le type rhomboédrique des cristaux d'azotate de rubidium pur. Les cristaux d'azotate de potassium pur ont leurs axes optiques dans le plan h^1, et la dispersion est assez forte, les axes rouges étant moins écartés que les axes violets. Si l'on ajoute du $RbAzO^3$ à la dissolution, on voit, dans les cristaux obtenus, les axes se rapprocher graduellement, de sorte que les cristaux deviennent uniaxes pour le rouge; puis les axes rouges s'écartent dans le plan perpendiculaire, c'est-à-dire dans le plan g^1, et l'uniaxie se produit successivement pour toutes les couleurs; enfin les cristaux redeviennent nettement biaxes, mais les axes sont dans le plan g^1. Il est à remarquer que, dans ces mélanges cristallisés, l'élévation de température produit le même effet que l'augmentation d'azotate de rubidium : en chauffant des cristaux dont les axes sont encore dans le plan h^1, on voit les axes passer successivement dans le plan h^1

et, par refroidissement, les axes reprennent leur position première. Tous ces cristaux sont négatifs, fortement biréfringents et présentent l'habitus des cristaux de $KAzO^3$, l'angle *mm* étant légèrement inférieur à 120°. Mais, quand les proportions dans la dissolution deviennent de 10 de $RbAzO^3$ pour 6 de $KAzO^3$, les cristaux ne présentent plus que des faces irrégulières mal venues et, si la proportion du rubidium augmente, on passe brusquement à une série de mélanges dont les cristaux ont l'habitus du $RbAzO^3$ pur, c'est-à-dire rhomboédriques positifs.

Comme le montre le Tableau précédent, à partir de 219° chacun des corps pris isolément est rhomboédrique du type calcite; il y a donc tout lieu de croire que, à partir de cette température, ils sont réellement isomorphes. En effet, si l'on opère par fusion, on constate que ces corps se mélangent en toutes proportions pour donner naissance à des cristaux rhomboédriques négatifs se maclant avec facilité, et, chose remarquable, tant que le phénomène de la surfusion se produit, on constate que la seconde forme rhomboédrique de l'azotate de potasse apparaît; c'est ainsi que l'on constate son existence pour une proportion en poids de 8 d'azotate de rubidium pour 1 d'azotate de potassium. Il est donc fort probable que cette seconde modification existe aussi dans l'azotate de rubidium, et, si on ne l'observe pas, cela tient simplement à ce que la surfusion est rare, quand l'azotate de rubidium est pur.

Par refroidissement, les cristaux rhomboédriques se transforment en cristaux quasi-ternaires du type de l'azotate de potassium, qui ont une biréfringence au moins comparable à celle des rhomboèdres; mais, à partir d'une proportion qui correspond à peu près à 66 pour 100 en poids d'azotate de rubidium, ces cristaux quasi-ternaires se décomposent en cristaux du même type évidemment et en grains microscopiques

qui sont probablement des cristaux rhomboédriques positifs du type de l'azotate de rubidium, c'est-à-dire très peu biréfringents. Par suite, l'ensemble présente une biréfringence beaucoup moins élevée que celle des cristaux quasi-ternaires seuls. Mais il est très difficile de suivre les variations de la température à laquelle se fait le passage d'une des modifications à l'autre. Lors du refroidissement, il y a toujours surfusion cristalline, et, par échauffement, on se butte à deux sortes de difficultés : pour certaines proportions des deux azotates, les deux modifications ont sensiblement la même biréfringence, et il est, par suite, difficile de saisir le moment du passage. D'autre part, quand la modification quasi-ternaire est décomposée, il faut, pour qu'il y ait reconstitution de cristaux homogènes, que la substance des cristaux microscopiques se diffuse dans les grands cristaux quasi-ternaires. Or, cette diffusion, en admettant qu'elle se produise, n'a lieu que très lentement et, par conséquent, le passage à la modification rhomboédrique s'étendra sur un assez long intervalle de température.

Un fait à signaler consiste en ce que, si l'on comprime un cristal rhomboédrique à l'état de surfusion cristalline, on le transforme immédiatement en un cristal quasi-ternaire, qui n'est pas toujours homogène, puisque la compression a pu déterminer des macles dans le cristal primitif.

Quand la proportion d'azotate de rubidium dépasse 10 pour 100 en poids, on voit les cristaux rhomboédriques se transformer en cristaux quasi-ternaires qui se décomposent immédiatement : la zone de décomposition suit pas à pas la zone de transformation. Puis, si la proportion augmente, on finit par distinguer nettement les modifications cubiques et rhomboédriques positives de l'azotate de rubidium, mais renfermant alors sous forme de grains microscopiques les cristaux quasi-ternaires.

Il résulte de tous ces faits que, si l'azotate de potassium est susceptible de dissoudre une notable quantité d'azotate de rubidium, inversement ce dernier ne peut dissoudre qu'une faible quantité du premier, à la température ordinaire, bien entendu.

Mélanges d'azotate de potassium et d'azotate de cæsium.

D'après le Tableau suivant, qui donne les différentes modifications de chacun des corps,

	$KAzO^3$.	$CsAzO^3$.
	quasi-ternaire	rhomboédrique
	—	+
126°		
	rhomboédrique	»
	—	
145		
	»	cubique

on peut prévoir qu'ils sont isodimorphes, c'est-à-dire que leurs mélanges se répartiront en deux séries séparées par une lacune. Il ne faut pas oublier que les deux formes rhomboédriques n'ont aucun rapport : l'une est quasi-cubique ; l'autre, au contraire, appartient au type calcite et possède une forte biréfringence, bien supérieure à celle de la première.

Pour les mélanges dont les proportions concordent avec la lacune, on obtient des conglomérats eutectiques, à structure micropegmatique de toute beauté. Ce conglomérat eutectique est compris entre les proportions de 50 pour 100 en poids et celle de 33 pour 100 d'azotate de potassium ; la température eutectique est d'environ 200°. On a donc une série de cristaux passant par les modifications cubiques et rhomboédriques, la température de transformation variant depuis 110° pour le mélange eutectique et 145° pour l'azotate de cæsium pur.

D'autre part, il existe une seconde série dont les termes passent par la symétrie rhomboédrique, négative, et par la symétrie quasi-ternaire. Mais, dans le conglomérat eutectique, les biréfringences des deux modifications sont si voisines que la méthode optique ne permet pas de déterminer la température de transformation.

CONCLUSIONS.

Les conclusions susceptibles d'être tirées du travail précédent sont nombreuses et variées. Tout d'abord, nous avons constaté qu'en général les mélanges cristallisés possédaient les mêmes modifications polymorphiques que chacun des corps pris isolément; il en résulte une confirmation de l'opinion émise par nous sur la structure des mélanges cristallisés. Il est impossible d'admettre, après cette constatation, que l'édifice cristallin résulte d'un mélange de particules complexes, les particules complexes de l'un des corps se substituant aux particules de l'autre; dans cette conception, en effet, une partie seulement des particules subirait la transformation polymorphique. De même, il faut rejeter la conception d'après laquelle l'édifice serait constitué de couches de molécules alternativement de l'un et de l'autre corps, car cette conception cesserait d'être exacte quand on passerait d'une modification à l'autre.

En second lieu, nous avons eu l'occasion d'observer le passage graduel d'une modification uniaxe à une modification biaxe, d'une part dans les mélanges d'azotate de thallium et d'ammonium, qui de quadratiques deviennent biaxes probablement orthorhombiques. Nous avons, en effet, constaté le rapprochement progressif des axes optiques soit sous l'influence du changement de composition soit sous l'influence de la chaleur; en même temps, des macles disparaissaient

graduellement. D'autre part, dans le mélange de l'azotate de potassium et de l'azotate d'ammonium la modification rhomboédrique négative stable à haute température de l'azotate de potassium devient nettement biaxe lorsque la proportion du second azotate augmente. On se trouve donc là en présence de faits identiques à ceux déjà constatés par MM. Wyrouboff et Herbette. On sait combien on a discuté sur les mélanges de sulfate de potassium et le sulfate de sodium; trois équivalents du premier, mélangés à un équivalent du second, donnent des cristaux rhomboédriques uniaxes; il s'agissait de savoir si l'on se trouvait en présence d'un mélange ou d'une combinaison : les cristaux obtenus par voie aqueuse n'ont fourni que des résultats sujets à caution. Mais, en opérant le mélange par fusion ignée, M. Wyrouboff a nettement montré qu'il y avait passage absolument continu de l'un des sulfates à l'autre par l'intermédiaire de l'uniaxe rhomboédrique. D'autre part, M. Herbette a montré que le mélange de tartrate de thallium orthorhombique et de tartrate de potassium monoclinique passait insensiblement du premier système au second.

Nous avons déjà indiqué les conditions de structure pour lesquelles il doit y avoir continuité entre les propriétés cristallographiques de l'un des corps et celles de l'autre, quand ils sont susceptibles de se mélanger pour cristalliser. Si, en effet, les particules complexes des deux corps renferment le même nombre de molécules, les molécules de l'un des corps, en se substituant à celles de l'autre dans l'édifice cristallin, amèneront celui-ci à passer de l'un des extrêmes à l'autre dans la série : supposons, en particulier, que l'un des corps possède un plan de symétrie remplacé dans l'autre par un plan diamétral; à mesure que les molécules du premier se substitueront à celles du second, la direction conjuguée au plan diamétral se rapprochera de plus en plus de la normale,

pour devenir finalement perpendiculaire sur le plan qui sera ainsi transformé en plan de symétrie.

D'une façon plus générale, on pourra passer d'une structure à l'autre par modification continue lorsque les particules complexes renfermeront le même nombre de molécules chimiques et que ces molécules seront semblablement réparties ; les deux corps seront alors véritablement isomorphes. Mais il y aura encore plusieurs cas à distinguer. Dans un premier cas, la série des cristaux mixtes est continue et complète depuis l'un des corps jusqu'à l'autre. Nous rencontrons de nombreux exemples de ce cas dans les azotates alcalins, pourvu que notre examen ne se limite pas aux mélanges stables à la température ordinaire.

On ne saurait trop insister sur ce point qu'à la température ordinaire, il n'y a que deux azotates alcalins qui soient réellement isomorphes, les azotates de rubidium et de cæsium, qui donnent une série continue de cristaux mixtes rhomboédriques quasi-cubiques, à toutes les températures inférieures à 136°.

Les mêmes azotates donnent également une série continue et complète, mais alors de cristaux cubiques, entre 161° et 219°.

Entre 80° et 105° d'une part, entre 80° et 125° de l'autre, les azotates de cæsium et de thallium, les azotates de rubidium et de thallium donnent également une série continue de cristaux mixtes rhomboédriques quasi-cubiques. Les mêmes azotates donnent des séries de cristaux cubiques aux températures supérieures à 145° pour les premiers et entre 161° et 185° pour les seconds, cette température de 185° est la température inférieure de fusion du mélange.

L'azotate d'ammonium donne des séries continues de cristaux cubiques avec l'azotate de thallium au-dessus de 125°, avec l'azotate de cæsium au-dessus de 145°, avec l'azotate de rubidium au-dessus de 161°. Mais cependant il y a doute sur

la continuité de ces dernières séries : il se pourrait, en effet, que, lors de la solidification, il y eût, entre certaines limites, formation de deux espèces de cristaux cubiques, autrement dit qu'il y eût une lacune au milieu de ces séries de cristaux cubiques.

Enfin l'azotate de potassium est réellement isomorphe avec l'azotate de rubidium aux températures supérieures à 219°. Alors, en effet, les deux azotates se mélangent en toutes proportions pour donner des cristaux rhomboédriques du type calcite.

Dans toutes ces séries de cristaux mixtes, les propriétés physiques varient, en général, de façon continue avec la composition.

Dans un second type de mélanges isomorphes, la série des cristaux mixtes présente une lacune : les cristaux mixtes correspondant aux limites de la lacune sont plus stables que ceux correspondant aux compositions comprises à l'intérieur de la lacune; aussi, lors de la cristallisation, ce sont les cristaux de composition correspondant aux limites qui prennent naissance, et l'on obtient un conglomérat de deux espèces de cristaux mixtes dont la proportion varie avec la composition du milieu cristallogène. Bien entendu, les limites de la lacune varient avec les conditions de température et de pression.

Les constantes physiques des cristaux mixtes sont, dans ce cas, représentées par deux fragments d'une même courbe, deux segments d'une même droite par exemple.

Les cristaux cubiques, résultant du mélange de l'azotate d'ammonium avec les azotates de cæsium, de thallium et de rubidium, sont peut-être, comme nous l'avons dit plus haut, des exemples de ce cas. Comme exemple certain, on peut citer les chlorures de potassium et d'ammonium, qui sont tous les deux cubiques et dont les mélanges à 25° renferment une quantité de chlorure d'ammonium qui varie de 0 à 18

pour 100 en poids moléculaires d'une part et de 97 à 100 pour 100 de l'autre. Si l'on fait cristalliser une dissolution renfermant une proportion intermédiaire, on obtient des cristaux renfermant les uns 18 et les autres 97 pour 100 de chlorure d'ammonium.

Dans un troisième type de mélanges, les cristaux appartiennent encore à une même série présentant une lacune, mais cette lacune est occupée par une série de cristaux mixtes ayant une forme primitive différente. Il y a continuité, au point de vue de la composition chimique, entre les trois groupes de cristaux, mais, pour les deux groupes extrêmes seulement, les constantes physiques sont représentées par une même courbe; les constantes physiques des cristaux du groupe intermédiaire sont représentées par des courbes n'ayant rien de commun avec les précédentes.

C'est ainsi que, entre 105° et 125°, les cristaux mixtes d'azotates de cæsium et de thallium forment une série continue au point de vue de la composition chimique; mais, aux deux extrémités, ils sont rhomboédriques quasi-cubiques, tandis que, pour les proportions intermédiaires, ils sont cubiques. Quand la température baisse, les deux limites comprenant les cristaux cubiques se rapprochent de plus en plus et se réunissent à la température de 105°, de telle sorte que, au-dessous de cette température, il n'y a plus qu'une série continue de cristaux rhomboédriques.

Dans les cas précédents les corps qui se mélangent pour cristalliser sont isomorphes, c'est-à-dire présentent des formes cristallines voisines et, comme il a été dit, les particules complexes renferment le même nombre de molécules semblablement placées. Passons maintenant aux séries de cristaux mixtes résultant du mélange de deux corps qui ne sont pas réellement isomorphes, qui n'ont pas les mêmes formes primitives, et dont les particules complexes ne ren-

ferment pas le même nombre de molécules, ou dont les molécules ne sont pas réparties de la même façon, de telle sorte que l'on ne peut passer par transitions continues de la particule de l'un à celle de l'autre.

Les cristaux mixtes obtenus, en partant de chacun des corps, appartiendront à deux séries distinctes, ne tendant pas l'une vers l'autre. De telle sorte que les variations des constantes physiques ne seront plus représentées par deux tronçons d'une même courbe, mais des tronçons de deux courbes différentes, par des fragments de deux droites différentes, par exemple. Les deux séries sont séparées par une lacune et ne chevauchent pas l'une sur l'autre, puisque, en général, deux modifications d'un même corps, simple ou mélangé, ne sont pas stables simultanément dans les mêmes conditions de température et de pression. Mais on peut concevoir que, en faisant varier ces conditions, l'une des séries devienne instable tandis que l'autre, au contraire, devienne stable pour toutes les proportions. Mais alors on a une véritable série de mélanges isomorphes et, à chaque extrémité, se trouvent les corps purs, avec le même type de structure, et le plus souvent avec la même symétrie, de sorte que l'un des corps apparaît sous une modification nouvelle et l'on est tout naturellement amené à dire que c'est sous cette modification qu'il entre dans le mélange. Si nous considérons, par exemple, le mélange d'azotate de potassium et de cæsium, à la température et sous la pression ordinaire, ils se répartissent en deux séries, l'une quasi-ternaire du type calcite, l'autre rhomboédrique quasi-cubique, et il y a discontinuité complète entre ces deux séries. Mais il se peut que, sous une certaine pression, la série rhomboédrique, par exemple, devienne instable, tandis que l'autre série soit stable pour toutes les proportions ; et alors à l'extrémité de cette série nous trouverons l'azotate de cæsium, sous la forme quasi-ternaire.

Aussi dit-on que, dans les mélanges quasi-ternaires, l'azotate de cæsium se trouve sous une modification quasi-ternaire, qu'il est crypto-quasi-ternaire. De même, dans la série rhomboédrique des mélanges, l'azotate de potassium se trouverait sous une modification crypto-rhomboédrique, etc. Un cas intéressant est celui des mélanges d'azotate de rubidium et d'ammonium sous la modification de l'azotate de thallium : ils sont tous les deux crypto-orthorhombiques. On voit que l'on est ainsi amené à attribuer à chacun des azotates alcalins un grand nombre de modifications, qui non seulement ne sont pas stables dans les conditions ordinaires, mais qui, en outre, n'ont jamais été obtenues. Il faut remarquer, il est vrai, qu'elles n'ont jamais été recherchées, à l'exception de la modification quasi-ternaire de l'azotate d'ammonium, que j'ai obtenue en ensemençant, avec de l'azotate de potassium, une solution sursaturée d'azotate d'ammonium. Jusqu'à nouvel ordre, il est donc inutile de citer les différentes modifications que chacun des azotates peut présenter, quand il se trouve à l'état de mélange.

En nous plaçant au point de vue général, on peut distinguer, dans les mélanges isopolymorphes, les différents cas suivants :

Dans un premier cas, les deux séries sont séparées par une lacune, comme cela a lieu dans la cristallisation simultanée de l'azotate de potassium et des azotates de cæsium, ou de thallium, ou encore de rubidium.

Dans un second cas, il n'y a pas de lacune, et au point de vue de la composition chimique il y a continuité entre les deux séries de cristaux mixtes. Tels sont les mélanges d'azotates de thallium et de cæsium d'une part et ceux d'azotates de thallium et de rubidium de l'autre, tous d'ailleurs au-dessous de 80° : les cristaux d'une série sont orthorhombiques comme l'azotate de thallium et les cristaux de l'autre série

sont rhomboédriques comme les azotates de rubidium et de cæsium.

Dans un troisième cas, la lacune, comprise entre les deux séries, est occupée par une troisième série de cristaux ayant une forme primitive différente de celles des deux autres séries. Tel serait le cas des mélanges d'azotate d'ammonium et de rubidium entre —16° et 10° : ils comprennent une série rhomboédrique quasi-cubique isomorphe de l'azotate de rubidium, une série orthorhombique isomorphe de l'azotate d'ammonium et entre ces deux séries une troisième série de cristaux orthorhombiques isomorphes de l'azotate de thallium.

Dans un quatrième cas, deux des séries du cas précédent sont séparées par une lacune. Par exemple, dans les mélanges d'azotate d'ammonium et de cæsium, on a, à la température ordinaire, une série de cristaux mixtes isomorphes de l'azotate d'ammonium, puis une série de cristaux quadratiques, puis une lacune et une série de cristaux rhomboédriques isomorphes de l'azotate de cæsium. Il pourrait, d'ailleurs, y avoir une seconde lacune entre les deux autres séries ; mais les azotates ne nous offrent pas d'exemple de cette particularité.

Dans un cinquième cas, la lacune, au lieu de se trouver entre deux séries de cristaux mixtes, se trouve au milieu de l'une des séries. Si, par exemple, dans les mélanges des azotates précédents, le magma par solidification donne des cristaux cubiques au milieu desquels il y a une lacune, à une température un peu supérieure à 88° on aura, en partant de l'azotate d'ammonium, une série de cristaux mixtes isomorphes de ce dernier azotate, c'est-à-dire de cristaux quadratiques, puis une série de cristaux cubiques, puis une lacune, puis une seconde série de cristaux cubiques, puis une série de cristaux rhomboédriques, isomorphes de l'azotate de cæsium.

Dans un autre ordre d'idées, on a vu que dans les mélanges

d'azotate de potassium et d'ammonium pouvait se produire de la diffusion : au-dessus de 104°, pour des proportions convenables, on obtient un conglomérat de cristaux quasi-ternaires et de cristaux quadratiques, ces derniers étant à l'état de filaments au milieu des autres. Or, quand ces cristaux passent à la modification monoclinique de l'azotate d'ammonium, comme nous l'avons déjà dit, la masse cristalline se trouble et devient le théâtre de mouvements vermiculaires qui la transforment en un fouillis inextricable, dans lequel il est impossible de discerner des cristaux; puis peu à peu, sans que l'on puisse se rendre compte du moment précis, on voit apparaître de larges plages homogènes de la nouvelle modification, qui est monoclinique. Il y a donc là diffusion de la matière, puisqu'une plage monoclinique occupe dans la préparation la place qu'y occupaient primitivement plusieurs cristaux, les uns quadratiques, les autres quasi-ternaires.

Le phénomène inverse de la diffusion est la concentration en un point; concentration accompagnée de cristallisation. Nous l'avons également observée dans le mélange des azotates d'ammonium et de cæsium. La matière constituant les cristaux rhomboédriques se sépare pour donner naissance à des cristaux quadratiques englobés au milieu de cristaux rhomboédriques du même type que les précédents, mais de composition différente.

A première vue, nous retrouvons donc dans les mélanges isomorphes deux caractères des solutions, mais il ne faut pas oublier que la diffusion d'une part, la concentration de l'autre se produisent au moment où il y a transformation polymorphique, de sorte que l'on est en droit de se demander si les phénomènes se produisent bien en milieu cristallisé, et s'ils n'ont pas lieu simplement en milieu solide.

TABLE PAR NOMS D'AUTEURS

DES TRAVAUX ORIGINAUX PUBLIÉS DANS LE TOME XXVIII.

TABLE ALPHABÉTIQUE ET ANALYTIQUE

DES MATIÈRES CONTENUES DANS LE TOME XXVIII.

ABRÉVIATIONS USITÉES DANS CETTE TABLE.

An.	Analyse.	*Min. nouv.*	Minéral nouveau.
Const.	Constitution.	*Opt.*	Étude optique.
Crist.	Cristallographie.	*Pol. rot.*	Polarisation rotatoire.
Group.	Groupement.		
Gis.	Gisement.	*Reprod.*	Reproduction.

Le Secrétaire gérant :

Maurice BLONDEL.

ERRATA.

Tome XXVII, 1904.

Page 92, ligne 4 en descendant, *au lieu de :* Plyrite, *lire :* Pyrite.
Page 262, ligne 3 en remontant, *au lieu de :* Friedel, *lire :* Friedl.

36297 Paris. — Imp. Gauthier-Villars, 55, quai des Grands-Augustins.

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DE

MINÉRALOGIE

(ANCIENNE SOCIÉTÉ MINÉRALOGIQUE DE FRANCE)

Fondée le 21 Mars 1878

RECONNUE COMME ÉTABLISSEMENT D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET
DU 2 FÉVRIER 1886.

TOME VINGT-SEPTIÈME.

PARIS.

LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE, CH. BÉRANGER, ÉDITEUR

15, rue des Saints-Pères, 15

MAISON A LIÈGE, RUE DE LA RÉGENCE, 21.

1904

SOMMAIRE.

Prière de s'adresser pour :

1° Tout ce qui concerne la rédaction du *Bulletin*. 2° Les changements d'adresse.	à M. le Secrétaire pour la France ;
Le paiement des *cotisations des membres* (¹).	à M. le Trésorier.
Les réclamations relatives à l'envoi des livraisons. Les abonnements (*des personnes ou établissements qui ne sont pas membres*). La vente du *Bulletin*.	à M. Ch. Béranger, libraire-éditeur, 15, rue des Saints-Pères, Paris.
Les échanges.	à M. l'Archiviste.

Secrétaire (pour la France) : M. M. BLONDEL, Laboratoire de Minéralogie de la Sorbonne.

Secrétaire (pour l'Étranger) : M. RICHARD, 73, rue du Cardinal-Lemoine.

Trésorier : M. L. BOURGEOIS, 1, boulevard Henri IV.

Archiviste : M. J. HERBETTE, Laboratoire de Minéralogie de la Sorbonne.

(¹) [illegible]

Membres honoraires de la Société.

MM. Brögger, — Fouqué, — Groth (Paul), — V. von Lang, — N. S. Maskelyne, — H. Rosenbusch, — H. Topsöe, — G. Tschermak, — Zirkel.

Composition du Bureau de la Société

Pour l'année 1903.

Président : M. H. Dufet.
Vice-Présidents : MM. Wallerant, de Gramont.
Trésorier : M. L. Bourgeois.
Secrétaire pour la France : M. M. Blondel.
Secrétaire pour l'Étranger : M. Ad. Richard.
Archiviste : M. J. Herbette.

Membres du Conseil.

MM. Gaubert, Lacroix, Michel, Pisani, de Schulten, Wyrouboff.

Les **séances** ordinaires de la Société ont lieu le **second Jeudi** de chaque mois, à quatre heures et demie, au Laboratoire de Minéralogie de la **Sorbonne.**

Dates des Séances en 1904.

Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet*	Nov.	Déc.
14	11	17	14	3	9	7	10	8

La **cotisation** annuelle, partant du 1er janvier de chaque année, pour tous les **Membres,** est de 20 francs.

La **cotisation annuelle** peut être remplacée par le **versement unique** d'une somme de 250 francs.

L'**abonnement annuel** au *Bulletin* pour les Bibliothèques est de 20 francs pour tous pays; l'abonnement part toujours du 1er janvier.

Le prix de chacun des tomes de la collection des bulletins, de l'année 1878 (tome I) à 1898 (tome XXI), est de 15 francs; celui des années 1899 à 1903 (tomes XXII à XXVI) est de 20 francs. Le prix de la première et de la deuxième Table décennale est de 3 fr. 50 chacune.

Les membres pourront, *sur leur demande personnelle, acquérir un exemplaire* de chacun des tomes avec une réduction de 5 francs sur chaque volume.

Pour devenir Membre de la Société, il faut être présenté par deux Membres. L'élection est mise à l'ordre du jour de la séance qui suit celle où la présentation a été faite.

Les Membres de la Société recevront un diplôme de sociétaire sur demande adressée au Secrétaire. Le prix de ce diplôme est fixé à 10 *francs*.

* La séance du mois de juillet est facultative.

PRIX DES TIRAGES À PART

NOMBRE D'EXEMPLAIRES	25	50	100	200	300	400	500
8 pages	7 50	8 »	9 »	12 50	16 »	19 50	23
12 pages	10 »	11 »	13 »	18 »	23 »	28 »	[illegible]
16 pages	12 50	13 50	15 »	22 »	29 »	36 »	43
Couvertre avec titre	6 25	6 50	7 »	9 50	12 »	14 50	17

Composition d'un grand titre, si le tirage à part n'a pas de couverture, 3 fr. 50. Brochage compris; port à la charge du destinataire.

[illegible] Paris. — Imprimerie GAUTHIER-VILLARS, quai des Grands-Augustins, [illegible]

Publication mensuelle

N^{os} 3, 4 et 5. Mars-Avril-Mai 1904. Tome XXVII.

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DE

MINÉRALOGIE

(ANCIENNE SOCIÉTÉ MINÉRALOGIQUE DE FRANCE)

Fondée le 21 Mars 1878

RECONNUE COMME ÉTABLISSEMENT D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET
DU 7 FÉVRIER 1886.

PARIS,

LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE, CH. BÉRANGER, ÉDITEUR

15, rue des Saints-Pères 15

MAISON A LIÈGE, RUE DE LA RÉGENCE, 21

1904

SOMMAIRE.

Prière de s'adresser pour :

1° Tout ce qui concerne la rédaction du *Bulletin*, 2° Les changements d'adresse,	à M. le Secrétaire pour la France;
Le paiement des *cotisations des membres* [1],	à M. le Trésorier.
Les réclamations relatives à l'envoi des livraisons, Les abonnements (*des personnes ou établissements qui ne sont pas membres*), La vente du *Bulletin*,	à M. Ch. Béranger, libraire-éditeur, 15, rue des Saints-Pères, Paris,
Les échanges,	à M. l'Archiviste.

Secrétaire (pour la France) : M. M. Blondel, Laboratoire de Minéralogie de la Sorbonne.

Secrétaire (pour l'Étranger) : M. Richard, 73, *rue du Cardinal-Lemoine*.

Trésorier : M. L. Bourgeois, 1, boulevard Henri-IV.

Archiviste : M. J. Herbette, Laboratoire de Minéralogie de la Sorbonne.

(1) [illegible]

Publication mensuelle

N° 6. Juin 1904 Tome XXVII

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DE

MINÉRALOGIE

(ANCIENNE SOCIÉTÉ MINÉRALOGIQUE DE FRANCE)

Fondée le 21 Mars 1878

RECONNUE COMME ÉTABLISSEMENT D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET
DU 2 FÉVRIER 1886.

PARIS.
LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE, CH. BÉRANGER, ÉDITEUR
15, rue des Saints-Pères, 15
MAISON A LIÈGE, RUE DE LA RÉGENCE, 21.

1904

SOMMAIRE.

Prière de s'adresser pour :

1° Tout ce qui concerne la rédaction du *Bulletin*, 2° Les changements d'adresse,	à M. le Secrétaire pour la France ;
Le paiement des *cotisations des membres* (¹),	à M. le Trésorier ;
Les réclamations relatives à l'envoi des livraisons, Les abonnements (*des personnes ou établissements qui ne sont pas membres*), La vente du *Bulletin*,	à M. Ch. Béranger, libraire-éditeur, 15, rue des Saints-Pères, Paris.
Les échanges,	à M. l'Archiviste.

Secrétaire (pour la France) : M. M. Blondel, Laboratoire de Minéralogie de la Sorbonne.

Secrétaire (pour l'Étranger) : M. Richard, 73, rue du Cardinal-Lemoine.

Trésorier : M. L. Bourgeois, 1, boulevard Henri-IV.

Archiviste : M. J. Herbette, Laboratoire de Minéralogie de la Sorbonne.

(1) Pour les sommes au-dessous de 10 francs, le mode d'envoi le plus économique est, en général, un mandat-carte français ou international.

Publication mensuelle

N° 7. Juillet 1904. Tome XXVII.

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DE

MINÉRALOGIE

(ANCIENNE SOCIÉTÉ MINÉRALOGIQUE DE FRANCE)

Fondée le 21 Mars 1878

RECONNUE COMME ÉTABLISSEMENT D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET DU 2 FÉVRIER 1886.

PARIS,

LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE, CH. BÉRANGER, ÉDITEUR

15, rue des Saints-Pères, 15

MAISON A LIÈGE, RUE DE LA RÉGENCE, 21.

1904

SOMMAIRE.

Prière de s'adresser pour :

1° Tout ce qui concerne la rédaction du *Bulletin*, 2° Les changements d'adresse,	à M. le Secrétaire pour la France ;
Le paiement des *cotisations des membres* (1),	à M. le Trésorier ;
Les réclamations relatives à l'envoi des livraisons, Les abonnements (*des personnes ou établissements qui ne sont pas membres*), La vente du *Bulletin*,	à M. Ch. Béranger, libraire-éditeur, 15, rue des Saints-Pères, Paris ;
Les échanges,	à M. l'Archiviste.

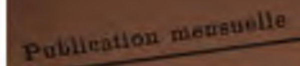
Secrétaire (pour la France) : M. M. Blondel, Laboratoire de Minéralogie de la Sorbonne.

Secrétaire (pour l'Étranger) : M. Richard, 73, rue du Cardinal-Lemoine.

Trésorier : M. L. Bourgeois, 1, boulevard Henri-IV.

Archiviste : M. J. Herbette, Laboratoire de Minéralogie de la Sorbonne.

(1) Pour les sommes au-dessous de 20 francs, le mode d'envoi le plus économique est, en général, un mandat-carte français ou international.



Juillet 1904.

XVII.

BULLETIN

DE LA

IÉTÉ FRANÇAISE

DE

NÉRALOGIE

ANCIENNE SOCIÉTÉ MINÉRALOGIQUE DE FRANCE)

Fondée le 21 Mars 1878

NUE COMME ÉTABLISSEMENT D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET
DU 2 FÉVRIER 1886.

PARIS,
RAIRIE POLYTECHNIQUE, CH. BÉRANGER, ÉDITEUR
15, rue des Saints-Pères, 15
MAISON A LIÉGE, RUE DE LA RÉGENCE, 21.

1904

SOMMAIRE.

Prière de s'adresser pour :

1° Tout ce qui concerne la rédaction du *Bulletin*, 2° Les changements d'adresse,	à M. le Secrétaire pour la France ;
Le paiement des *cotisations des membres* (1),	à M. le Trésorier
Les réclamations relatives à l'envoi des livraisons, Les abonnements (*des personnes ou établissements qui ne sont pas membres*), La vente du *Bulletin*,	à M. Ch. Béranger, libraire-éditeur, 15, rue des Saints-Pères, Paris.
Les échanges.	à M. l'Archiviste.

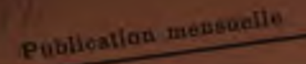
Secrétaire (pour la France) : M. M. Blondel, Laboratoire de Minéralogie de la Sorbonne.

Secrétaire (pour l'Étranger) : M. Richard, 73, rue du Cardinal-Lemoine.

Trésorier : M. L. Bourgeois, 1, boulevard Henri-IV.

Archiviste : M. J. Herbette, Laboratoire de Minéralogie de la Sorbonne.

(1) Pour les sommes au-dessous de [illegible] francs, le mode d'envoi le plus économique est le [illegible] (français ou international).



Publication mensuelle

N° 9. Décembre 1904. Tome XXVII

BULLETIN
DE LA
SOCIÉTÉ FRANÇAISE
DE
MINÉRALOGIE

(ANCIENNE SOCIÉTÉ MINÉRALOGIQUE DE FRANCE)

Fondée le 21 Mars 1878

RECONNUE COMME ÉTABLISSEMENT D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET DU 2 FÉVRIER 1886.

PARIS,
LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE, CH. BÉRANGER, ÉDITEUR
15, rue des Saints-Pères, 15
MAISON A LIÈGE, RUE DE LA RÉGENCE, 21.

1904

SOMMAIRE.

Prière de s'adresser pour :

1° Tout ce qui concerne la rédaction du *Bulletin*, 2° Les changements d'adresse,	à M. le Secrétaire pour la France ;
Le paiement des *cotisations des membres* (¹),	à M. le Trésorier ;
Les réclamations relatives à l'envoi des livraisons, Les abonnements (*des personnes ou établissements qui ne sont pas membres*), La vente du *Bulletin*,	à M. Ch. Béranger, libraire-éditeur, 15, rue des Saints-Pères, Paris.
Les échanges,	à M. l'Archiviste.

Secrétaire (pour la France) : M. M. Blondel, Laboratoire de Minéralogie de la Sorbonne.

Secrétaire (pour l'Étranger) : M. Richard, 73, rue du Cardinal-Lemoine.

Trésorier : M. L. Bourgeois, 1, boulevard Henri-IV.

Archiviste : M. I. Herbette, Laboratoire de Minéralogie de la Sorbonne.

(¹) Pour les sommes au-dessous de 50 francs, le mode d'envoi le plus économique est, en général, un mandat-carte français ou international.

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DE

MINÉRALOGIE

(ANCIENNE SOCIÉTÉ MINÉRALOGIQUE DE FRANCE)

Fondée le 21 Mars 1878

RECONNUE COMME ÉTABLISSEMENT D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET
DU 2 FÉVRIER 1886.

TOME VINGT-HUITIÈME.

PARIS.

LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE, CH. BÉRANGER, ÉDITEUR

15, rue des Saints-Pères, 15

MAISON A LIÈGE, RUE DE LA RÉGENCE, 21.

1905

36-97. PARIS. — IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS,
Quai des Grands-Augustins, 55.

Publication mensuelle

N° 1. Janvier 1905. Tome XXVIII

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DE

MINÉRALOGIE

(ANCIENNE SOCIÉTÉ MINÉRALOGIQUE DE FRANCE)

Fondée le 21 Mars 1878

RECONNUE COMME ÉTABLISSEMENT D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET
DU 2 FÉVRIER 1886.

PARIS

LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE, CH. BÉRANGER, ÉDITEUR

15, rue des Saints-Pères, 15

MAISON A LIÈGE, RUE DE LA RÉGENCE, 21

1905

SOMMAIRE.

Prière de s'adresser pour :

1° Tout ce qui concerne la rédaction du *Bulletin*, 2° Les changements d'adresse,	à M. le Secrétaire pour la France;
Le paiement des *cotisations des membres* (¹),	à M. le Trésorier;
Les réclamations relatives à l'envoi des livraisons, Les abonnements (*des personnes ou établissements qui ne sont pas membres*), La vente du *Bulletin*,	à M. Ch. Béranger, libraire-éditeur, 15, rue des Saints-Pères, Paris.
Les échanges,	à M. l'Archiviste.

Trésorier : M. L. BOURGEOIS, 1, boulevard Henri-IV.

Secrétaire (pour la France) : M. M. BLONDEL, Laboratoire de Minéralogie de la Sorbonne.

Secrétaire (pour l'Étranger) : M. Jean HERBETTE, Laboratoire de Minéralogie de la Sorbonne.

Archiviste : M. Jean HERBETTE, Laboratoire de Minéralogie de la Sorbonne.

(¹) [illegible]

Publication mensuelle

N° 2. Février 1905. Tome XXVIII.

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DE

MINÉRALOGIE

(ANCIENNE SOCIÉTÉ MINÉRALOGIQUE DE FRANCE)

Fondée le 21 Mars 1878

RECONNUE COMME ÉTABLISSEMENT D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET
DU 2 FÉVRIER 1886.

PARIS,
LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE, CH. BÉRANGER, ÉDITEUR
15, rue des Saints-Pères, 15
MAISON A LIÈGE, RUE DE LA RÉGENCE, 21.

1905

SOMMAIRE.

Pages.

Prière de s'adresser pour :

1° Tout ce qui concerne la rédaction du *Bulletin*, 2° Les changements d'adresse,	à M. le Secrétaire pour la France ;
Le paiement des *cotisations des membres* (¹),	à M. le Trésorier,
Les réclamations relatives à l'envoi des livraisons, Les abonnements (*des personnes ou établissements qui ne sont pas membres*), La vente du *Bulletin*,	à M. Ch. Béranger, libraire-éditeur, 15, rue des Saints-Pères, Paris,
Les échanges,	à M. l'Archiviste.

Trésorier : M. L. Bourgeois, 1, boulevard Henri-IV.

Secrétaire (pour la France) : M. M. Blondel, Laboratoire de Minéralogie de la Sorbonne.

Secrétaire (pour l'Étranger) : M. Jean Herbette, Laboratoire de Minéralogie de la Sorbonne.

Archiviste : M. Jean Herbette, Laboratoire de Minéralogie de la Sorbonne.

(¹) [illegible]

Publication mensuelle

N° 1. Janvier 1905. Tome XXVIII.

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DE

MINÉRALOGIE

(ANCIENNE SOCIÉTÉ MINÉRALOGIQUE DE FRANCE)

Fondée le 21 Mars 1878

RECONNUE COMME ÉTABLISSEMENT D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET DU 7 FÉVRIER 1886.

PARIS,
LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE, CH. BÉRANGER, ÉDITEUR
15, rue des Saints-Pères, 15
MAISON A LIÈGE, RUE DE LA RÉGENCE, 21.

1905

SOMMAIRE.

Prière de s'adresser pour :

1° Tout ce qui concerne la rédaction du *Bulletin*, 2° Les changements d'adresse,	à M. le Secrétaire pour la France ;
Le paiement des *cotisations des membres* (¹),	à M. le Trésorier ;
Les réclamations relatives à l'envoi des livraisons, Les abonnements (*des personnes ou établissements qui ne sont pas membres*), La vente du *Bulletin*,	à M. Ch. Béranger, libraire-éditeur, 15, rue des Saints-Pères, Paris,
Les échanges.	à M. l'Archiviste.

Trésorier : M. L. Bourgeois, 1, boulevard Henri-IV.

Secrétaire (pour la France) : M. M. Blondel, Laboratoire de Minéralogie de la Sorbonne.

Secrétaire (pour l'Étranger) : M. Jean Herbette, Laboratoire de Minéralogie de la Sorbonne.

Archiviste : M. Jean Herbette, Laboratoire de Minéralogie de la Sorbonne.

(¹) Pour les sommes au-dessous de 20 francs, le mode d'envoi le plus économique est, en général, un mandat-carte français ou international.

Publication mensuelle

Nos 6 et 7. Juin-Novembre 1905. Tome XXVIII.

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DE

MINÉRALOGIE

(ANCIENNE SOCIÉTÉ MINÉRALOGIQUE DE FRANCE)

Fondée le 21 mars 1878

RECONNUE COMME ÉTABLISSEMENT D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET DU 2 FÉVRIER 1886.

PARIS,
LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE, CH. BÉRANGER, ÉDITEUR
15, rue des Saints-Pères, 15
MAISON A LIÈGE, RUE DE LA RÉGENCE, 21.

1905

SOMMAIRE.

Prière de s'adresser pour :

1° Tout ce qui concerne la rédaction du *Bulletin*, 2° Les changements d'adresse,	à M. le Secrétaire pour la France ;
Le paiement des *cotisations des membres* (¹),	à M. le Trésorier ;
Les réclamations relatives à l'envoi des livraisons, Les abonnements (*des personnes ou établissements qui ne sont pas membres*), La vente du *Bulletin*,	à M. Ch. Béranger, libraire-éditeur, 15, rue des Saints-Pères, Paris,
Les échanges,	à M. l'Archiviste.

Trésorier : M. L. Bourgeois, 1, boulevard Henri-IV.

Secrétaire (pour la France) : M. M. Blondel, Laboratoire de Minéralogie de la Sorbonne.

Secrétaire (pour l'Étranger) : M. Jean Herbette, Laboratoire de Minéralogie de la Sorbonne.

Archiviste : M. Jean Herbette, Laboratoire de Minéralogie de la Sorbonne.

(¹) Pour les sommes au-dessous de 50 francs, le mode d'envoi le plus économique est, en général, un mandat-carte français ou international.

Publication mensuelle

N° 8. Décembre 1905. Tome XXVIII.

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DE

MINÉRALOGIE

(ANCIENNE SOCIÉTÉ MINÉRALOGIQUE DE FRANCE)

Fondée le 21 Mars 1878

RECONNUE COMME ÉTABLISSEMENT D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET DU 2 FÉVRIER 1886.

PARIS,

LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE, CH. BÉRANGER, ÉDITEUR

15, rue des Saints-Pères, 15

MAISON A LIÉGE, RUE DE LA RÉGENCE, 21.

1905

SOMMAIRE.

Pages

Prière de s'adresser pour :

1° Tout ce qui concerne la rédaction du *Bulletin*, 2° Les changements d'adresse.	à M. le Secrétaire pour la France;
Le paiement des *cotisations des membres* (1),	à M. le Trésorier;
Les réclamations relatives à l'envoi des livraisons, Les abonnements (*des personnes ou établissements qui ne sont pas membres*), La vente du *Bulletin*,	à M. Ch. Béranger, libraire-éditeur, 15, rue des Saints-Pères, Paris;
Les échanges.	à M. l'Archiviste.

(1) Pour les sommes au-dessous de 50 francs, le mode d'envoi le plus économique est, en général, un mandat-carte français ou international.

Membres honoraires de la Société.

MM. Brögger, — Groth (Paul), — N. von Lang, — N. S. Maskelyne, — H. Rosenbusch, — H. Topsöe, — G. Tschermak, — G. Wyrouboff, — Zirkel.

Composition du Bureau de la Société

Pour l'année 1905

Président : M. Fréd. Wallerant.
Vice-Présidents : MM. A. de Lapparent, Bureau.
Trésorier : M. L. Bourgeois.
Secrétaire pour la France : M. M. Blondel.
Secrétaire pour l'Etranger : M. Jean Herbette.
Archiviste : M. Jean Herbette.

Membres du Conseil.

MM. Dufet, A. Lacroix, Michel, de Gramont, Richard, Termier.

Les **séances** ordinaires de la Société ont lieu le **second Jeudi** de chaque mois, à quatre heures et demie, au Laboratoire de Minéralogie de la **Sorbonne**.

Dates des Séances en 1905.

Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet*	Nov.	Déc.
12	9	9	13	11	8	13	9	14

La **cotisation** annuelle, partant du 1er janvier de chaque année, pour tous les **Membres,** est de 20 francs.

La **cotisation annuelle** peut être remplacée par le **versement unique** d'une somme de 250 francs.

L'**abonnement annuel** au *Bulletin* pour les Bibliothèques est de 20 francs pour tous pays; l'abonnement part toujours du 1er janvier.

Le prix de chacun des tomes de la collection des bulletins, de l'année 1878 (tome I) à 1898 (tome XXI) est de 15 francs; celui des années 1899 à 1904 (tomes XXII à XXVII) est de 20 francs. Le prix de la première et de la deuxième Table décennale est de 3 fr. 50 chacune.

Les membres pourront, *sur leur demande personnelle, un exemplaire* de chacun des tomes avec une réduction de 5 francs sur chaque volume.

Pour devenir Membre de la Société, il faut être présenté par deux Membres. L'élection est mise à l'ordre du jour de la séance qui suit celle où la présentation a été faite.

Les Membres de la Société recevront un diplôme de sociétaire sur demande adressée au Secrétaire. Le prix de ce diplôme est fixé à 10 francs.

(*) La séance du mois de juillet est facultative.

PRIX DES TIRAGES A PART

NOMBRE D'EXEMPLAIRES	25	50	100	200	300	400	500
8 pages..........	7 50	8 »	9 »	12 50	16 »	19 50	23 »
12 pages..........	10 »	11 »	13 »	18 »	23 »	28 »	33 »
16 pages..........	12 50	13 50	15 »	22 »	29 »	36 »	43 »
Couvert[re] avec titre	6 25	6 50	7 »	9 50	12 »	14 50	17 »

Composition d'un grand titre, si le tirage à part n'a pas de couverture, 3 fr. 50. Brochage compris; port à la charge du destinataire.

35297 Paris. — Imprimerie GAUTHIER-VILLARS, quai des Grands-Augustins, 55.